

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

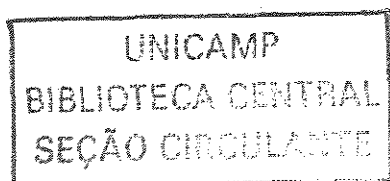
**ANÁLISE DA REFLETÂNCIA DE CORES DE  
TINTAS ATRAVÉS DA TÉCNICA  
ESPECTROFOTOMÉTRICA**

**Adriana Petito de Almeida Silva Castro**

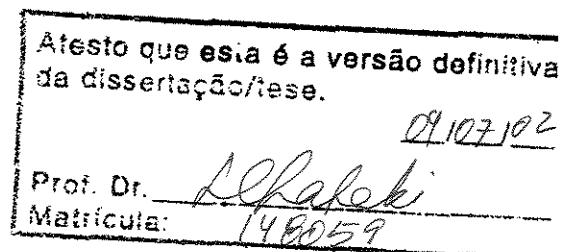
**Orientadora: Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki**

**Co-orientadora: Profa. Dra. Rosana Maria Caram de Assis (EESC-USP)**

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Faculdade de Engenharia Civil da  
UNICAMP, para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Civil, na área de  
concentração de Edificações.



Campinas, SP  
2002



UNIDADE BQ  
Nº CHAMADA T/UNICAMP  
C279a  
V \_\_\_\_\_ EX \_\_\_\_\_  
TOMBO BC/ 51023  
PROC 16.837/02  
Z \_\_\_\_\_ DX \_\_\_\_\_  
PREÇO 12411,00  
DATA 27/09/02  
IS CPD \_\_\_\_\_

CM00174320-1

IB ID 259058

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C279a

Castro, Adriana Petito de Almeida Silva

Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica / Adriana Petito de Almeida Silva Castro.--Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientadores: Lucila Chebel Labaki e Rosana Maria Caram de Assis.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Calor solar. 2. Espectrofotometria. 3. Análise espectral. 4. Conforto térmico. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Assis, Rosana Maria Caram de. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DA REFLETÂNCIA DE CORES DE TINTAS  
ATRAVÉS DA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA**

**Adriana Petito de Almeida Silva Castro**

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



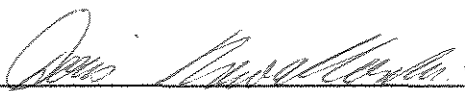
---

**Prof.ª Dr.ª Lucila Chebel Labaki**  
Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP



---

**Prof. Dr. Admir Basso**  
Escola de Engenharia de São Carlos - USP



---

**Prof. Dr.ª Doris Catharine Cornélie Knatz Kowaltowski**  
Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP

Campinas, 15 de Abril de 2002.

004583A

## DEDICATÓRIA

*Para Wagner,  
Caio Pedro  
e João Vitor,  
com muito amor.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir cumprir mais uma etapa de minha vida.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>ª</sup> Lucila Chebel Labaki, pela dedicada orientação e constante incentivo, além do enorme carinho demonstrado ao longo de todo o Mestrado.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>ª</sup> Rosana Maria Caram de Assis, pelo estímulo, apoio e amizade sempre demonstrados durante todo este trabalho.

Ao Mauro R. Fernandes, técnico do IQSC/USP, pelo auxílio nas medidas espectrofotométricas.

Ao Joaquim Pizzutti, pelo valioso auxílio na confecção dos gráficos.

Ao Edson, da Minas Tintas de São Carlos, pelo fornecimento das amostras de tintas.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Wagner, por seu amor, compreensão e carinho, e por, inúmeras vezes, entreter nossos filhos para que eu pudesse desenvolver esse trabalho.

Aos meus pais, Euclides e Márcia, pelo exemplo de vida.

Aos meus irmãos, Renato e Ricardo, pelo interesse e constante disposição em ajudar.

Aos amigos Dani, Alexandre e Raquel, pelo empréstimo do scanner e da câmera digital.

À amiga Carolina Lotufo Bueno Bartholomei, pela amizade e colaboração sempre constantes, desde os tempos de colégio.

A todos que torceram por mim e colaboraram, de alguma forma, com o desenvolvimento desta dissertação.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE QUADROS.....	xii
RESUMO.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Conceção Bioclimática – edifícios adaptados ao clima.....	5
3.1.1 Princípios da concepção bioclimática.....	7
3.2 A cor externa como estratégia bioclimática.....	11
3.3 Espectro eletromagnético e espectro solar.....	14
3.4 Propriedades termofísicas dos materiais e componentes construtivos.....	18
3.5 Trocas térmicas entre a edificação e o meio.....	24
3.5.1 Efeitos combinados da radiação solar e condições do ar ambiente – a temperatura ar-sol.....	29
3.6 O ganho solar em superfícies opacas.....	30
3.7 Algumas considerações sobre Cor.....	34
3.8 Resultados conhecidos sobre refletância de cores.....	37

3.9	Métodos para determinação da refletância.....	43
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
4.1	Materiais da Fase 1.....	46
4.2	Materiais da Fase 2.....	48
4.3	Materiais da Fase 3.....	48
4.3.1	Amostras de tintas e amostras do catálogo.....	48
4.3.2	Seleção e preparo das amostras.....	49
4.3.2.1	Amostras ensaiadas em superfície real.....	50
4.3.2.2	Amostras do catálogo.....	52
4.4	Equipamentos.....	54
4.4.1	O Espectrofotômetro.....	54
4.4.2	A Esfera Integradora.....	56
5.	Resultados Experimentais.....	61
5.1	Resultados das fases 1 e 2.....	61
5.2	Resultados da fase 3.....	65
5.2.1	Amostras de tintas fornecidas (“pastilhas”).....	87
5.2.1.1	Região do ultravioleta.....	87
5.2.1.2	Região do visível.....	87
5.2.1.3	Região do infravermelho.....	87
5.2.1.4	Refletância total.....	88
5.2.2	Amostras do catálogo.....	88
5.2.2.1	Região do ultravioleta.....	88
5.2.2.2	Região do visível.....	88
5.2.2.3	Região do infravermelho.....	89
5.2.2.4	Refletância total.....	89
6.	DISCUSSÃO.....	90
6.1	Discussão dos resultados das fases 1 e 2.....	90
6.2	Discussão dos resultados da fase 3.....	91

6.2.1	Pastilhas.....	92
6.2.2	Catálogo.....	98
6.2.3	Catálogo X Pastilhas.....	102
7.	CONCLUSÕES.....	106
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
	ABSTRACT.....	113



## LISTA DE FIGURAS

1	O espectro eletromagnético.....	15
2	Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real ( $q_2$ ) e de uma parede fictícia de peso nulo ( $q_1$ ).....	23
3	Trocas de calor através de paredes opacas.....	26
4	Gráfico de refletância espectral.....	35
5	Cores ensaiadas retiradas do catálogo da Coral Tintas.....	47
6	Patilhas ensaiadas.....	51
7	Cores ensaiadas retiradas do catálogo da Suvinil Tintas.....	54
8	Espectrofotômetro.....	55
9	Esfera integradora.....	57
10	Compartimento da esfera integradora.....	58
11	Princípio de funcionamento da esfera.....	59
12	Pastilhas de sulfato de bário.....	60
13	Curvas de refletância espectral das cores Azul Arpoador, Azul Profundo, Cinza Citrino, Cinza e Concreto.....	62
14	Curvas de refletância espectral das cores Amarelo Vanilla, Branco Gelo, Branco Neve, Marfim e Palha.....	63
15	Curvas de refletância espectral das cores Preto, Verde Palmares, Verde Piscina, Vermelho Cardinal, Rosa Pétala e Pêssego.....	63
16	Curva de refletância espectral da cor Alecrim (pastilha).....	66
17	Curva de refletância espectral da cor Areia (pastilha).....	66
18	Curva de refletância espectral da cor Branca (pastilha).....	67
19	Curva de refletância espectral da cor Gelo (pastilha).....	67
20	Curva de refletância espectral da cor Mel (pastilha).....	68
21	Curva de refletância espectral da cor Marfim (pastilha).....	68
22	Curva de refletância espectral da cor Palha (pastilha).....	69

23	Curva de refletância espectral da cor Pêssego (pastilha).....	69
24	Curva de refletância espectral da cor Vanilla (pastilha).....	70
25	Curva de refletância espectral da cor Flamingo (pastilha).....	70
26	Curva de refletância espectral da cor Telha (pastilha).....	71
27	Curva de refletância espectral da cor Azul Bali (pastilha).....	71
28	Curva de refletância espectral da cor Preta (pastilha).....	72
29	Curva de refletância espectral da cor Vermelho Cardinal (pastilha).....	72
30	Curva de refletância espectral da cor Azul Profundo (pastilha).....	73
31	Curva de refletância espectral da cor Alecrim (catálogo).....	75
32	Curva de refletância espectral da cor Areia (catálogo).....	75
33	Curva de refletância espectral da cor Branca (catálogo).....	76
34	Curva de refletância espectral da cor Gelo (catálogo).....	76
35	Curva de refletância espectral da cor Mel (catálogo).....	77
36	Curva de refletância espectral da cor Marfim (catálogo).....	77
37	Curva de refletância espectral da cor Palha (catálogo).....	78
38	Curva de refletância espectral da cor Pêssego (catálogo).....	78
39	Curva de refletância espectral da cor Vanilla (catálogo).....	79
40	Curva de refletância espectral da cor Flamingo (catálogo).....	79
41	Curva de refletância espectral da cor Telha (catálogo).....	80
42	Curva de refletância espectral da cor Azul Bali (catálogo).....	80
43	Curva de refletância espectral da cor Atlantis (catálogo).....	81
44	Curva de refletância espectral da cor Camurça (catálogo).....	81
45	Curva de refletância espectral da cor Pérola (catálogo).....	82
46	Curva de refletância espectral da cor Damasco (catálogo).....	82
47	Curva de refletância espectral da cor Concreto (catálogo).....	83
48	Curva de refletância espectral da cor Marrocos (catálogo).....	83
49	Curva de refletância espectral da cor Preta (catálogo).....	84
50	Curva de refletância espectral da cor Vermelho Cardinal (catálogo).....	84
51	Curva de refletância espectral da cor Azul Profundo (catálogo).....	85
52	Curva de refletância espectral da cor Verde Musgo (catálogo).....	85

53	Curvas de refletância espectral das cores Branco, Marfim, Palha, Gelo e Vanilla (pastilhas).....	94
54	Curvas de refletância espectral das cores Branco, Gelo, Mel, Vermelho Cardinal e Azul Profundo, em função do comprimento de onda.....	95

## LISTA DE TABELAS

1	Sensibilidade relativa ao olho humano ( $V_\lambda$ ) em função do comprimento de onda.....	36
2	Absorção em função da cor.....	38
3	Fatores de reflexão ( $\rho$ ) de diferentes cores (%).....	39
4	Valores de Coeficientes de Absorção ( $\alpha$ ) e Emissividade ( $\epsilon$ ).....	40
5	Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e Emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).....	41
6	Refletâncias obtidas para as diferentes cores analisadas.....	64
7	Refletâncias obtidas para as pastilhas pintadas.....	74
8	Refletâncias obtidas para as cores retiradas do catálogo.....	86
9	Refletâncias obtidas para as pastilhas na região do visível.....	93
10	Refletâncias obtidas para as pastilhas na região do visível e infravermelho.....	96
11	Refletâncias no visível e total (pastilhas).....	97
12	Refletâncias obtidas para o catálogo na região do visível.....	99
13	Refletâncias obtidas para o catálogo na região do visível e infravermelho.....	100
14	Refletâncias no visível e total (catálogo).....	101
15	Refletâncias no visível para catálogo e pastilhas.....	103
16	Refletâncias totais para catálogo e pastilhas.....	104

## LISTA DE QUADROS

1	Resumo dos princípios da concepção bioclimática.....	11
2	Comprimentos de onda correspondentes a cada cor.....	34

## RESUMO

Castro, Adriana Petito de Almeida Silva. Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 113 p. Dissertação de Mestrado.

Neste trabalho estuda-se a atenuação do ganho de calor solar através da escolha adequada da cor externa, como princípio da concepção bioclimática. É proposta uma metodologia para medições de refletância de cores, utilizando a análise por espectrofotometria. O método fornece não apenas a refletância total como também porcentagens de reflexão ao longo do espectro. Utiliza-se o acessório chamado esfera integradora, que permite a distribuição difusa da luz. Amostras de tintas de diferentes cores são analisadas em função da refletância à radiação solar. São feitas análises em 15 pastilhas pintadas com várias cores de tintas, bem como em 22 amostras retiradas de catálogo de fabricante. Através dos resultados obtidos, elabora-se uma comparação entre as refletâncias obtidas para as pastilhas e para o catálogo, bem como uma relação das cores de menor contribuição no ganho de calor. É possível atualizar dados sobre refletância de cores, e complementar informações técnicas pouco disponíveis no mercado.

Palavras-chave: refletância de cores, análise espectrofotométrica, esfera integradora, ganho solar.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo do desempenho térmico de edificações tem se desenvolvido com bastante intensidade no Brasil nos últimos anos. Esse estudo está intimamente ligado ao conforto ambiental, envolvendo não exclusivamente o aspecto térmico, como também os aspectos de acústica, iluminação, funcionalidade, qualidade do ar interior, etc. Um dos problemas enfrentados por pesquisadores e profissionais da área em nosso país é a necessidade de um conhecimento maior das propriedades termofísicas dos materiais e componentes construtivos. Dados retirados de publicações estrangeiras são muito utilizados, podendo referir-se a materiais que não correspondam àqueles utilizados nas construções brasileiras.

Entre as propriedades relacionadas aos efeitos da radiação solar, destaca-se a propriedade das superfícies opacas absorverem ou refletirem a radiação, diretamente afetada pela cor da mesma.

O ganho de calor através de superfícies opacas devido à radiação solar exerce grande influência nas condições de conforto térmico do ambiente interno (SEKER & TAVIL, 1996).

Portanto, o desempenho térmico de um edifício pode ser significativamente influenciado pela cor da superfície externa, já que a cor determina a quantidade de radiação solar absorvida, que se transforma em calor e é transferida em parte para o interior do edifício. Está claro que o controle do efeito da radiação é possível através da escolha da cor (GIVONI, 1981).

Nosso interesse de trabalho é a relação entre a cor das paredes externas de uma edificação e a capacidade de reflexão e absorção da radiação solar, isto é, o ganho solar pelas superfícies opacas devido à absorção da radiação solar, e a conseqüente transmissão de calor para o interior.

Cores claras têm coeficiente de reflexão alto e, portanto, baixo coeficiente de absorção, para ondas curtas, isto é, cores claras refletem bastante a radiação solar. Em relação à radiação térmica, ou radiação de onda longa, cores claras e escuras têm o mesmo comportamento. As superfícies externas, independentemente da cor, são igualmente resfriadas à noite por radiação para o exterior, pois não há diferenças significativas na emissividade das superfícies.

Quando a radiação solar incide sobre uma fachada opaca de uma edificação, a energia incidente é em parte absorvida e em parte refletida. A fração de energia absorvida é reirradiada ou emitida sob a forma de radiação de onda longa. A emissividade e o coeficiente de absorção de um determinado material são iguais, para regiões de mesmo comprimento de onda. Na verdade, a energia absorvida corresponde a comprimentos de onda curta, justamente nas regiões do espectro solar – ultravioleta, visível e infravermelho próximo, mas quando ocorre a emissão ou reirradiação, esta se dá em comprimentos de onda longa, entre 7000 e 10000 nm (GIVONI, 1981 e VAN STRAATEN, 1967).

Um outro aspecto que deve ser considerado é a concepção bioclimática do ambiente, isto é, a concepção de edifícios adaptados ao clima local. A concepção bioclimática utiliza os recursos que a natureza oferece para obter ganhos e perdas de calor através da envoltória do edifício, garantindo que tais ganhos ou perdas de calor sejam proveitosas para os ocupantes do edifício e criando condições de conforto físico e psicológico sem a necessidade de sistemas mecânicos de climatização.

As perdas e ganhos de calor entre o interior e exterior podem ocorrer por: condução, convecção, radiação e evaporação/condensação. Especificamente neste estudo, a radiação, tanto térmica quanto solar, ocupa maior importância. O controle da radiação solar incidente nas edificações é de fundamental importância para que se possa, no inverno, favorecer os ganhos de



calor; enquanto no verão, limitar os ganhos solares e favorecer o resfriamento por radiação noturna.

Neste trabalho pretende-se estudar um dos princípios da concepção bioclimática, o de se atenuar o ganho solar através da escolha adequada da cor externa.

Atualmente, a grande variedade de tonalidades de cores de tintas disponível no mercado tem influído significativamente nos projetos arquitetônicos. Dispõe-se, entretanto, na literatura técnica, de apenas alguns valores de refletâncias médias em superfícies. Além disso, os dados encontrados na literatura brasileira atual, ou são muito imprecisos, ou fornecem valores de refletância obtidos há duas ou três décadas, ou, ainda, baseiam-se em resultados obtidos no exterior.

No presente trabalho, amostras de tintas de diferentes cores são analisadas em função de sua refletância à radiação solar. A técnica utilizada é a análise espectrofotométrica, método que fornece não apenas a refletância total, como também as porcentagens de reflexão ao longo do espectro, permitindo escolher a região de interesse.

O capítulo 2 apresenta os objetivos do trabalho, seguido do capítulo 3, onde é feita uma revisão bibliográfica. Já no capítulo 4 estão descritos os materiais e equipamentos utilizados. O capítulo 5 exhibe os resultados experimentais obtidos, através de gráficos e tabelas, seguido da discussão dos resultados no capítulo 6. Finalmente, algumas conclusões são abordadas no capítulo 7.

Pode-se constatar dois avanços nesse trabalho: um no que diz respeito a atualização das informações sobre refletância de cores, e o outro com relação a separação entre as três regiões do espectro solar, o que permite uma análise mais detalhada da interação das diversas cores externas com a radiação solar.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivos principais:

- Apresentar metodologia alternativa para medições de refletância, utilizando o espectrofotômetro.
- Obter experimentalmente valores de refletância da radiação de onda curta de várias cores de tintas utilizadas em fachadas.
- Atualizar dados de refletância de cores, pois os valores presentes na literatura atual estão defasados de décadas.
- Complementar informações técnicas pouco disponíveis no mercado.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Concepção Bioclimática – edifícios adaptados ao clima

A concepção bioclimática consiste em se utilizar os recursos que a natureza oferece, como por exemplo: sol, vento, vegetação e temperatura ambiente, isto é, utilizar os fenômenos naturais de transmissão energética para obter ganhos e perdas de calor através da envoltória do edifício. Além disso, a concepção bioclimática permite garantir que tais ganhos ou perdas de calor sejam proveitosos para os ocupantes do edifício, criando condições de conforto físico e psicológico, não necessitando recorrer a sistemas mecânicos de calefação e climatização (CAMOUS & WATSON, 1986).

SZOKOLAY (1995), assim define concepção bioclimática: “O projeto bioclimático em arquitetura deve assegurar a existência e o bem estar de organismos **biológicos** em dadas condições **climáticas** (em primeiro lugar dos seres humanos, mas protegendo a bio-diversidade). A arquitetura bioclimática se baseia solidamente na ciência da arquitetura, especialmente energética, mas vai muito além disso. Rejeita os ambientes desumanos e com desperdício de energia, as ubíquas caixas de vidro e os arranha-céus. Rejeita, ainda, a arquitetura dominada pela moda, e retorna às necessidades e valores básicos do ser humano, encorajando o regionalismo. O projeto bioclimático emprega as tecnologias apropriadas, ditadas pela tarefa particular, pelas dadas condições sócio-econômicas, mas evita a armadilha do neo-primitivismo romântico. Não rejeita a alta tecnologia, mas se baseia num imperativo ecológico e moral: *tirar o mínimo possível do e rejeitar o mínimo possível para o ambiente*. A arquitetura bioclimática é um modo de pensar

em arquitetura, um modo de fazer projeto arquitetônico. O pensamento bioclimático deve penetrar em todos os níveis, todas as fases do projeto arquitetônico, desde o anteprojeto até os detalhes finais”.

GALLO (1994), salienta que arquitetura bioclimática não é uma idéia abstrata, mas uma realidade intimamente ligada às condições ambientais. Esta afirmação é parte de um modo compreensivo de conceber arquitetura, onde o arquiteto analisa e projeta o espaço tendo em mente aumentar-se o bem-estar físico e psicológico dos futuros ocupantes.

Afirma, ainda, que há dois tipos de elementos que contribuem para a criação de uma residência bioclimática: aqueles que exploram fontes naturais de energia e aqueles que reduzem a perda de calor a um valor mínimo. Além disso, os materiais construtivos devem ser selecionados em função da sua capacidade térmica. Resumindo, isto significa escolher os componentes construtivos de forma que capturem, convertam, armazenem e distribuam o calor solar, evitando o modo tradicional de controle de calor. Há muitas outras maneiras de se manter uma residência com baixa temperatura durante o verão: lavando telhados e terraços, escolhendo cores apropriadas para as paredes externas, instalando equipamentos de economia de energia.

ZUHAIRY & SAYIGH (1993), mostram que o peso das paredes, tanto externas quanto internas, pode ser utilizado como estratégia bioclimática. O tipo de parede, seu peso, e sua espessura com relação ao atraso térmico são considerados nas recomendações da metodologia usada para se conceber um projeto bioclimático. Nesse estudo, são recomendadas paredes pesadas e com atraso de 8 horas para um projeto climático na cidade de Riyadh.

Assim, pode-se concluir que “... toda boa arquitetura é também bioclimática” (GALLO, 1994).

### **3.1.1 Princípios da concepção bioclimática**

As perdas e ganhos de calor entre o interior e exterior ocorrem por: condução, convecção e radiação (calor sensível), e por evaporação ou condensação (calor latente).

Em se tratando desses mecanismos na concepção bioclimática, deve-se limitar as perdas de calor do interior para o exterior e favorecer o ganho solar, no inverno. Já no verão, deve acontecer o inverso: limitar o ganho de calor e favorecer as perdas desde o interior do edifício.

Para atingir esses objetivos, CAMOUS & WATSON (1986), estabeleceram um conjunto de nove princípios da concepção bioclimática. Tais princípios combinam todas as possibilidades de trocas térmicas de um edifício com seu entorno, e estão descritos a seguir.

#### **➤ Reduzir as trocas de calor por condução (no inverno e, em alguns casos, no verão)**

Este objetivo é alcançado principalmente utilizando-se materiais termicamente isolantes; procedimento eficaz se as temperaturas externas são muito diferentes (inferiores ou superiores) das temperaturas médias do interior (de 20 a 26°C).

No verão este princípio não deve ser considerado, a não ser naquelas regiões onde é impossível, durante um período de tempo bastante extenso, obter condições de conforto a base de climatização natural. Assim, será necessário recorrer a sistemas mecânicos de climatização e ao emprego de materiais isolantes.

Pode-se notar que o isolamento térmico não se refere somente a componentes opacas do edifício (paredes, telhados e fachadas), como também a portas externas e janelas.

➤ **Favorecer os ganhos solares (inverno)**

O sol é uma notável fonte de energia para o aquecimento no inverno. Esta energia pode ser captada naturalmente graças a certos elementos do edifício, como as janelas orientadas ao norte, no caso do hemisfério sul. Estas técnicas de calefação solar podem ser denominadas de *sistemas passivos*, pois utilizam elementos do próprio edifício para captar, armazenar e distribuir o calor solar sem a utilização de sistemas mecânicos (ativos, por oposição), como equipamentos de ar condicionado.

➤ **Limitar os movimentos do ar exterior (inverno)**

Os ventos de inverno elevam muito as perdas de calor de um edifício ao atuar principalmente sobre a velocidade das infiltrações de ar. Para reduzir o efeito do vento é imprescindível implantar o edifício em função da topografia e vegetação do entorno. A forma do edifício também será levada em conta.

➤ **Limitar as infiltrações de ar (inverno)**

As infiltrações correspondem às fugas de ar pelas frestas, aos defeitos construtivos, às juntas, e, sobretudo, aos contramarcos de portas e janelas. As infiltrações e, por consequência, as saídas de ar quente são consideradas a principal fonte de perda de calor de um edifício bem isolado, já que esse é um dos problemas de mais difícil solução na campo da construção.

➤ **Defasar as variações periódicas de temperatura (inverno e verão)**

Este princípio está relacionado a capacidade térmica dos componentes do edifício. Os materiais pesados têm maior capacidade de armazenar calor, o que pode ser aproveitado para se melhorar o conforto de um edifício e reduzir o consumo energético. Por exemplo, a possibilidade

de defasar as transferências de calor através de uma parede de tijolo pode retardar até o período noturno o efeito devido às temperaturas máximas do dia, técnica especialmente útil em climas quentes e secos, onde há importantes variações térmicas entre dia e noite.

➤ **Limitar os ganhos solares (verão)**

A maneira mais eficaz de se garantir o conforto térmico no verão consiste em se limitar os efeitos da principal causa de sobreaquecimento protegendo o edifício do sol ou, ao menos, reduzindo as superfícies da envoltória expostas ao sol de verão. A busca de sombra se aplica, em primeiro lugar, às fachadas de vidro com maior exposição.

➤ **Favorecer a ventilação (verão)**

Os procedimentos naturais para se conseguir o resfriamento do interior de um edifício com a ajuda do movimento do ar são os seguintes: 1) a ventilação cruzada, que aproveita o efeito do vento, e 2) o efeito chaminé, resultante da subida do ar quente dentro de um edifício, com a vantagem de atuar onde não exista pressão alguma de vento no exterior. Quando não há vento, ou por inviabilização do efeito chaminé, um ventilador pode ser utilizado para melhorar o efeito da ventilação natural.

➤ **Favorecer o resfriamento por evaporação (verão)**

O resfriamento natural do interior de um edifício é conseguido também pela evaporação de água num ponto de entrada de ar, por exemplo. Outro procedimento para resfriar externamente a envoltória por evaporação seria pulverizar a cobertura com água. Estas técnicas são aplicadas em climas quentes e secos quando se dispõe de água suficiente para este uso.

➤ **Favorecer o resfriamento por radiação (verão)**

Todo edifício pode se resfriar com eficiência se a temperatura superficial dos materiais externos está acima da temperatura ambiente, mais concretamente a temperatura do ar à noite. A isto se denomina resfriamento por radiação noturna. A temperatura superficial da envoltória depende do seu coeficiente de absorção de radiação solar e da capacidade térmica dos materiais que o compõem. A superfície externa da envoltória deve ter emissividade de radiação de onda longa suficiente para alcançar o efeito de resfriamento.

Percebe-se que a importância relativa desses nove princípios varia de uma região para outra, segundo a duração dos períodos frios e quentes que caracterizam uma zona concreta. Nas regiões frias e temperadas sempre pode-se aplicar os princípios de inverno.

Os princípios referentes a climatização de verão não são aplicáveis de modo sistemático nas regiões frias, pois os períodos de calor intenso costumam ser demasiado breves para justificar a utilização de técnicas adequadas. Em contrapartida, os princípios de conforto de verão são aqueles utilizados prioritariamente em regiões de clima temperado e, por conseguinte, em regiões quentes.

Algumas técnicas, como o resfriamento por evaporação ou por radiação noturna, apresentam melhor rendimento em regiões de clima quente e seco. O resfriamento por evaporação seria recomendável em regiões quentes e o resfriamento por radiação noturna em regiões quentes e úmidas, mas não seriam suficientes para evitar a utilização de um sistema mecânico de climatização. Em se tratando de climatização de verão, a importância dos princípios citados está subordinada às condições de umidade, vento e temperatura locais.

Em resumo, os princípios da concepção bioclimática são apresentados a seguir, no Quadro 1:



## QUADRO 1

### Resumo dos princípios da concepção bioclimática

		<b>Condução</b>	<b>Convecção</b>	<b>Radiação</b>	<b>Evaporaç</b>
<b>INVERNO</b>	Favorecer os ganhos de calor	Defasar as variações periódicas de temperatura		Favorecer os ganhos de calor	
	Rejeitar as perdas de calor	Limitar as transferências de calor por condução	Limitar os movimentos do ar exterior Limitar as infiltrações de ar		
<b>VERÃO</b>	Rejeitar os ganhos de calor	Limitar as transferências de calor por condução		Limitar os ganhos solares	
	Favorecer as perdas de calor	Defasar as variações periódicas de temperatura	Favorecer a ventilação	Favorecer o resfriamento por radiação noturna	Favorecer o resfriamento p evaporação

FONTE: CAMOUS & WATSON, 1986. pág. 12.

### 3.2 A cor externa como estratégia bioclimática

KOLOKOTRONI & YOUNG (1990), desenvolveram um estudo sobre diretrizes de concepção de projeto bioclimático na Grécia, tendo como principal foco do trabalho as condições térmicas passivas criadas nas residências analisadas. A técnica utilizada no trabalho

foi, primeiramente, estabelecer as zonas climáticas e térmicas da Grécia e, a partir daí, testar o efeito de várias opções de projeto bioclimático (tais como formato das residências, orientação, capacidade de ganho de calor, isolamento térmico e tamanho de aberturas, além de cor das superfícies externas, sombreamento, formato do telhado) no desempenho térmico de cada uma das zonas climáticas. O efeito das várias opções de projeto foi estabelecido por uma técnica de simulação computacional que previa as condições térmicas internas. Uma das conclusões obtidas neste estudo foi a de que cores claras devem ser utilizadas para superfícies externas em todas as zonas climáticas, pois absorvem menos calor no verão, prevenindo, assim, o aumento das temperaturas internas. Os resultados das simulações computacionais mostraram que, no verão, a temperatura interna é reduzida de 2 °C se a absorptância da superfície externa for reduzida de 0,9 para 0,1. Contudo, como a absorptância de 0,1 corresponde a um “branco puro”, o qual é de difícil manutenção e pode causar ofuscamento se utilizado em grandes superfícies, foi determinado o valor de 0,25 de absorptância para superfícies externas nas simulações.

Ainda conforme KOLOKOTRONI & YOUNG (1990), quase 70% do desempenho térmico de uma edificação está relacionado às cores e à espessura das paredes do envelope do edifício, à orientação das aberturas e possibilidade de seu sombreamento, e à ventilação que estas propiciam em relação à sua localização e dimensionamento. Nesse caso, mesmo quando o condicionamento artificial é necessário (em condições extremas), é possível gastar uma quantidade de energia muito menor (IZARD & GUYOT, 1983).

Segundo CROOME (1991), as paredes devem fornecer proteção contra o calor solar, ruído externo, poeira e favorecer a segurança. A estrutura deve retardar e alternar o ganho solar de forma que as cargas de pico não coincidam com as condições externas de pico. A face externa deve ser pintada de cor clara e ter uma baixa absorptância solar. Tal fato ocorre para alguns tipos de blocos construtivos e o melhor que se pode esperar é algo similar à pedra de Riyadh, que é da cor amarelo claro e tem absorptância em torno de 0,55, ou o mármore, com um valor ainda menor, em torno de 0,45. Para climas quentes e secos, a cor e a densidade das paredes são de extrema importância no processo construtivo. Um outro elemento importante na redução do ganho de calor solar através das paredes é a orientação, mas esse efeito se torna menos significativo conforme se aumenta a densidade de energia térmica das paredes.

GARG (1991), avaliou o uso das opções passivas capazes de controlar o clima de espaços internos, quantificando a extensão do desconforto térmico em função do clima ambiente e das propriedades do edifício. Este estudo examina as fachadas de edificações na região de Delhi (Índia). As condições térmicas de uma residência tradicional são determinadas, um índice quantitativo de desconforto é estabelecido, e o grau de desconforto é calculado. Opções passivas disponíveis para modificar o clima interno da casa são consideradas isoladamente, e é feita uma tentativa para examinar o quanto o desconforto térmico pode ser controlado com cada uma das opções.

Concluiu-se que dois terços do desconforto podem ser eliminados com o uso das seguintes opções passivas:

- fazer caiação de paredes e telhados
- utilizar paredes de tijolos de 120 mm de espessura (tradicional) e com 23 mm de revestimento interno
- utilizar orientação leste-oeste para edifícios horizontais.

LABAKI & KOWALTOWSKI (1998), em estudo sobre projeto bioclimático e vernacular em residências do Brasil, explicitam que, a partir da definição do clima local, surgem várias estratégias de projeto bioclimático: orientação do edifício em relação ao sol e vento, tratamento do solo e paisagismo, espessura das paredes, condições de sombreamento, escolha dos materiais e cores de construção, detalhamento da construção do telhado e ventilação permanente entre forro e telhado (ventilação do ático), localização e tipo das aberturas e presença de ventilação cruzada. Exemplos de arquitetura vernacular são geralmente utilizados na literatura bioclimática como projeto climático. Estratégias específicas são relatadas para o projeto climático típico. No deserto da Arábia, residências com paredes espessas ou construções oceânicas abertas de peso leve e a utilização de torres de vento, são considerados bons exemplos de estratégia bioclimática.

No trabalho supra citado, foram analisadas algumas residências na cidade de Campinas, e concluiu-se que 51% das casas avaliadas estavam inacabadas na parte externa, esperando por

estruque e pintura das paredes externas. As casas inacabadas eram da cor da cerâmica do material construtivo ou possuíam o tom cinza do cimento de revestimento. Já as casas acabadas eram pintadas de cores claras como verde, azul e rosa, bem como cores em tons pastéis, como bege. A caiçação não faz parte do costume local. Geralmente nas paredes externas era aplicada a pintura asfáltica, para prevenir penetração de umidade, quando a proteção pelo beiral do telhado era impossível. Isto realmente acontecia na edícula das casas, onde três paredes externas eram pintadas de preto e não havia dispositivos de sombra.

As características das casas acima se refletem diretamente nas condições de conforto térmico, especialmente considerando problemas de períodos quentes. A radiação solar não é controlada através da orientação correta, nem tampouco pela utilização de dispositivos de sombra. 25% das casas que possuíam a sala e o quarto orientados para o norte, sem varanda nem árvore, tiveram grandes ganhos de calor durante o dia. O ganho de calor pelas paredes leste, norte e oeste, sem dispositivo de sombra, será irradiado nas salas sem ventilação durante a noite. Há um aumento no ganho de calor das paredes, já que 50% das casas estão inacabadas e possuem revestimento (reboco) de cor cinza.

### 3.3 Espectro eletromagnético e espectro solar

#### Espectro eletromagnético

Segundo HELMS & BELCHER (1991), a teoria eletromagnética explica as características da energia radiante. Uma representação gráfica de energia radiante é chamada de *espectro*. Diferentes formas de energia radiante estão dispostas como um *continuum*, desde raios cósmicos até a eletricidade. O espectro eletromagnético (ou energia radiante) compreende uma faixa de  $10^{-5}$  nanômetros (nm) para raios cósmicos, até  $4,98 \times 10^{15}$  nm para corrente elétrica de 60 Hertz (Hz).

Com relação ao fenômeno que exibe as características de onda, a luz é a porção do espectro eletromagnético que o sistema visual pode detectar. A representação do espectro eletromagnético conforme se encontra na figura 1 é de grande utilidade para se compreender certos aspectos de luz tais como cor, interferência e difração.

A radiação eletromagnética é um fenômeno ondulatório que se propaga no vácuo com velocidade constante  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s. Devido à relação recíproca entre comprimento de onda e frequência ( $\lambda = c/f$ ), a energia radiante pode ser expressa em termos de comprimento de onda ou frequência ao longo de todo espectro.

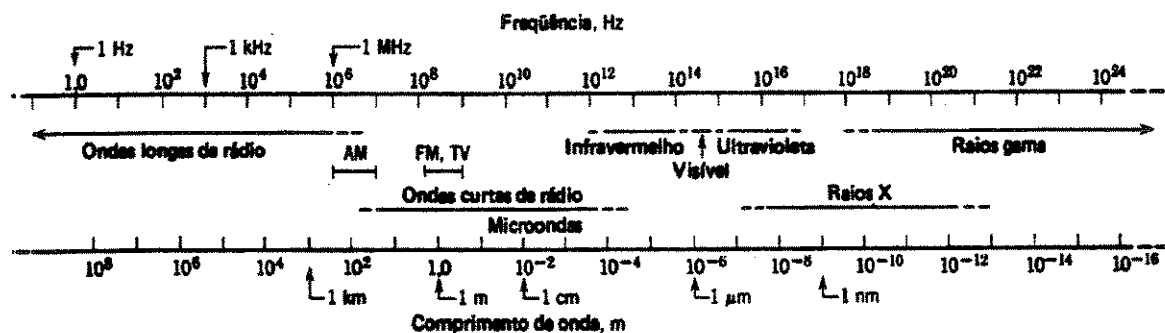


FIGURA 1 – O espectro eletromagnético

FONTE: HALLIDAY & RESNICK – Física 4 – pág. 60

#### Espectro solar:

A radiação solar, radiação eletromagnética emitida pelo sol, compreende um espectro que varia de 280 a 3000nm, abrangendo três regiões: ultravioleta, visível e infravermelho, definidas a seguir.

De acordo com o CIBSE CODE (1984), os limites da região ultravioleta são geralmente considerados como sendo 100 e 400nm. Esta região é ainda subdividida em três partes:

Ultravioleta A (próximo) - de 315 a 380nm

Ultravioleta B - de 280 a 315nm

Ultravioleta C - de 100 a 280nm

A presença do ultravioleta em edificações não pode ser desprezada pois, apesar de chegar à superfície terrestre em pequena proporção, é muito energética, podendo causar diversos efeitos como: desbotamento ou descoloração de carpetes, móveis, roupas, quadros. A região do ultravioleta responsável pelo desbotamento da matéria situa-se entre 300 e 400 nm. Comprimentos de onda inferiores a este limite provocam também este efeito, mas quase não chegam à superfície terrestre. A luz solar, na verdade, pode produzir desbotamento até na região do visível em 600 nm, mas com reduzida intensidade pois a região crítica situa-se mesmo nos limites citados acima (CARAM, 1998).

A região chamada visível do espectro solar compreende uma faixa espectral bem definida, que varia de 380nm a 780nm, e é aquela para a qual o olho humano é sensível, causando a sensação de visão e cores. Define-se então “luz branca” como a radiação que contém todos os comprimentos de onda da faixa visível do espectro eletromagnético. A região do visível está associada à intensidade de luz branca transmitida, influenciando diretamente no grau de iluminação de um ambiente. A luz é, portanto, o instrumento através do qual se estabelece a visão, provavelmente o mais importante meio de comunicação do homem com seu entorno. Do ponto de vista do conforto ambiental, é desejável nos ambientes a penetração dessa radiação, não só para o bom aproveitamento da iluminação natural, como para suprir as necessidades humanas de contato visual com o exterior (CARAM, LABAKI e SICHIERI, 1995).

Conforme consta no CIBSE CODE (1984), os limites da faixa espectral relativa ao infravermelho são considerados entre 780nm e 1mm. Esta região encontra-se dividida em três faixas:

Infravermelho de ondas curtas (próximo) - de 780 a 1400nm

Infravermelho de ondas médias - de 1400 a 3000nm

Infravermelho de ondas longas - de 3000nm a 1mm

O infravermelho é invisível ao olho humano sendo que um de seus efeitos principais é o térmico, responsável pelo aquecimento de ambientes, secagem de tintas, etc. Assim, o infravermelho próximo é fonte de calor; interfere nas condições internas do ambiente, através do ganho de calor e corresponde a mais da metade do espectro solar, sendo portanto de extrema importância sua consideração (CARAM, 1998).

A radiação de onda longa é chamada também de radiação térmica, ou radiação do corpo negro. É emitida pelos corpos à temperatura ambiente, e portanto, pela superfície da Terra para a atmosfera e o espaço exterior. Nesse processo há uma perda de calor, da Terra para o exterior, que equilibra o calor ganho pela radiação solar incidente.

A radiação que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre distribui-se nas regiões do espectro nas seguintes proporções aproximadas: 7% no ultravioleta, 47% no visível e 46% no infravermelho. Estas proporções variam segundo as condições atmosféricas, nebulosidade, presença de vapor de água (GIVONI, 1981).

CARAM (1998) cita CHEREMISINOFF & REGINO (1974) para afirmar que do ponto de vista do aproveitamento de energia solar, pode-se considerar somente as radiações cujos comprimentos de onda encontrem-se entre 290 e 1500nm, pois comprimentos de onda superiores a esse valor, chegam de forma bastante reduzida à superfície, sendo absorvidos pelo vapor de água e dióxido de carbono presentes na atmosfera. Quanto aos comprimentos de onda inferiores a 290nm, são absorvidos pela camada de ozônio.

### 3.4 Propriedades termofísicas dos materiais e componentes construtivos

As propriedades dos materiais e componentes construtivos relacionadas com os processos de transferência de calor são as seguintes:

- Condutividade térmica dos materiais.
- Resistência e condutância térmica de componentes
- Características superficiais em relação à radiação de onda longa: refletância e absorvância, emissividade
- Coeficiente de convecção superficial
- Características dos materiais em relação à radiação solar: materiais transparentes e opacos
- Transparência à radiação para diferentes comprimentos de onda
- Calor específico dos materiais
- Capacidade térmica dos componentes
- Coeficiente global de transmissão térmica de componentes

Neste trabalho não serão descritas todas as propriedades citadas, mas apenas aquelas relacionadas mais especificamente com o objetivo deste estudo, como as características dos materiais em relação à radiação solar.

A radiação solar é um dos fatores de fundamental importância para a análise do desempenho térmico de edificações e para o estudo das condições de conforto térmico de seus ocupantes. Dependendo das propriedades das superfícies atingidas pela radiação, diferentes processos poderão ocorrer, de absorção, reflexão e transmissão da radiação solar. Independentemente de qual desses processos seja predominante, há sempre um ganho de calor.



### Condutividade ( $\lambda$ ) , Condutância (C) e Resistência (r) térmicas

Quanto maiores a condutividade e a condutância, maior o fluxo de calor por condução. A condutividade refere-se a um determinado material. A condutância, por levar em conta a espessura, é uma característica do componente construtivo. Por exemplo, a condutividade do concreto armado é 1,75 W/m°C (FROTA & SCHIFFER, 1995). Por essa razão, uma laje de concreto armado de 10 cm possui condutância de 17,5 W/m<sup>2</sup>°C. A resistência térmica é o inverso da condutância.

$$C = \frac{\lambda}{e} \quad (\text{equação 1})$$

$$r = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{equação 2})$$

C: condutância térmica ( W/m<sup>2</sup>°C )

$\lambda$ : condutividade térmica (W/m°C)

e: espessura (m)

r: resistência térmica (m<sup>2</sup>°C/W)

### Características das superfícies com relação à radiação térmica

As propriedades que caracterizam as superfícies com relação à radiação térmica são: absorvância, refletância e emissividade.

INCROPERA & DE WITT (1990), definem:

Reflexão: é o processo de redirecionamento da radiação incidente na superfície.

Refletância: é a fração da radiação incidente refletida pela matéria.

Absorção: é o processo de converter radiação interceptada pela matéria em energia térmica interna.

Absortância: é a fração da radiação incidente absorvida pela matéria.

Emissão: é o processo de produção de radiação pela matéria em uma temperatura finita.

Emissividade: é a razão entre a radiação emitida pela superfície e a radiação emitida por um corpo negro na mesma temperatura.

A radiação incidente em uma superfície opaca pode ser absorvida ou refletida, sendo totalmente absorvida no caso do corpo negro ideal e totalmente refletida no caso do refletor ideal. Na realidade, as superfícies absorvem somente parte da radiação incidente, refletindo o restante. Se a absortância é denotada por  $\alpha$  e a refletância por  $\rho$ , então

$$\alpha + \rho = 1 \quad \text{(equação 3)}$$

Para qualquer comprimento de onda específico, a emissividade é numericamente igual à absortância, mas ambas podem variar para diferentes comprimentos de onda. Isto significa que o corpo emite radiação térmica na mesma proporção em que absorve.

Toda superfície emite radiação com uma distribuição espectral e intensidade dependentes da sua temperatura; a radiação emitida pelas superfícies em temperaturas ordinárias está na região do infravermelho longínquo.

O fluxo de calor emitido, por radiação, por unidade de área, por um corpo a temperatura absoluta  $T$  é dado por:

$$q_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad \text{(equação 4)}$$

onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan-Boltzmann (INCROPERA & DE WITT, 1990) e  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície.

Para o corpo negro ideal,  $\alpha = \varepsilon = 1$ ,  $\rho = 0$ , isto é, o corpo absorve toda a radiação que incide sobre ele, emitindo na mesma proporção. Em geral, quanto mais escura a superfície, maior sua emissividade e absorvância. Superfícies metálicas brilhantes são maus absorvedores, e portanto bons refletores. A emissividade das superfícies dos componentes construtivos varia entre 0,05 (para alguns metais polidos) e 0,95 (outros materiais comuns) (GIVONI, 1981).

Os materiais estão classificados em quatro grandes grupos, em relação à radiação de onda longa e à radiação solar, conforme IZARD & GUYOT (1983):

- Materiais seletivos frios: com alta emissividade e alta reflexão à radiação solar; baixa absorção, portanto. Devido à alta emissividade, perdem facilmente calor para o meio externo. Exemplos: cal, gesso, pintura branca comum, papel, etc.
- Materiais seletivos quentes: baixa emissividade e baixa reflexão da radiação de ondas curtas. Pelo fato de terem baixa emissividade, dificilmente perdem calor para o meio externo, além de absorverem bastante a radiação solar. Exemplos: cobre tratado, aço inox tratado, aço galvanizado novo, etc.
- Materiais refletores: baixa emissividade e alta reflexão. É o caso das superfícies metálicas, polidas.
- Corpos negros: alta emissividade, baixa reflexão para a radiação de ondas curtas. Aquecem-se muito pelo efeito da radiação solar, mas perdem facilmente calor para o meio externo, efeito que é mais perceptível à noite. Exemplos: superfícies escuras, ásperas, asfalto, areia úmida, alcatrão, etc.

## Inércia Térmica

À inércia térmica estão associados dois fenômenos de grande importância para o desempenho térmico do edifício: o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento e resfriamento dos materiais. O amortecimento refere-se à capacidade de um fechamento de atenuar os extremos externos de temperatura, garantindo menor variação da temperatura interna. O atraso é "... o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento" (RIVERO, 1986). É o tempo que transcorre entre os momentos de ocorrência da temperatura máxima do ar no exterior e no interior da edificação quando se verifica um fluxo de calor através de um componente construtivo submetido a uma variação periódica da temperatura do ar no exterior. O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão expostas (GRANJA, 2002).

Considerando-se inicialmente a temperatura interna igual à externa, quando esta última se eleva, há a ocorrência de um certo fluxo de calor do ambiente externo para o interno. Esse fluxo não atravessa a parede imediatamente, aquecendo-a, primeiramente, internamente.

Tal fluxo, se comparado com uma parede fictícia de peso nulo, atravessa a parede com um certo atraso e amortecido, conforme a figura 2. O atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica, a qual é função da densidade, da condutividade e da capacidade térmica da parede. A capacidade térmica da parede é o produto da massa pelo calor específico do material.

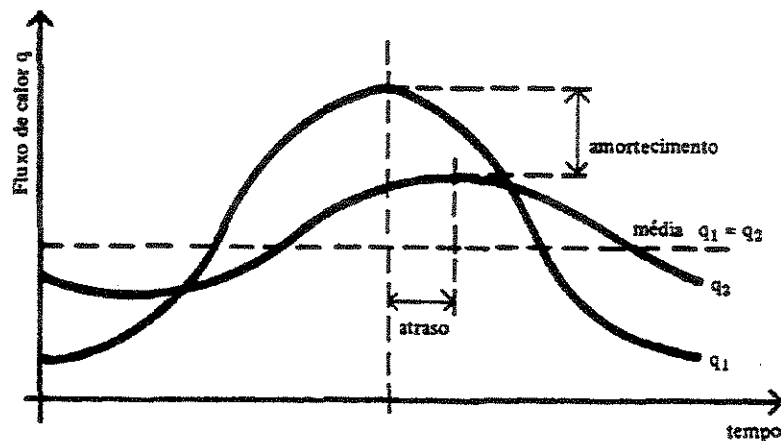


FIGURA 2 – Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real ( $q_2$ ) e de uma parede fictícia de peso nulo ( $q_1$ ).

FONTE: FROTA & SCHIFFER, 1995.

Uma parede apresenta maior ou menor inércia segundo seu peso e sua espessura. Mas os revestimentos desempenham importante papel, pois revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor através da parede e, portanto, sua inércia.

A inércia térmica não deve ser entendida como uma propriedade relacionada ao fechamento opaco em si. O entendimento deste fenômeno pressupõe um enfoque sistêmico que inclui o contexto climático onde a edificação está inserida, as propriedades termofísicas e dimensionais do fechamento, as variáveis associadas ao projeto, como a cor da superfície externa, o período de utilização, entre outros.

Na pesquisa de GRANJA (2002), utilizou-se o modelo de transmissão de calor em regime periódico, e comprovou-se que a influência da absorvância é mais significativa em fechamentos opacos com baixa inércia térmica. Neste sentido, inferiu-se que o efeito da cor da superfície externa do fechamento na onda térmica é inversamente proporcional à sua resistência e à sua capacidade térmica volumétrica.

O fluxo de calor para o interior do edifício diminui conforme a capacidade térmica (produto da massa pelo calor específico) de sua estrutura aumenta. Quando a espessura da parede é aumentada, a fim de se elevar a capacidade térmica, a resistência térmica total aumenta proporcionalmente; assim, o efeito térmico é muito maior. A amplitude de temperatura interna varia como uma função exponencial da espessura da parede, e, conseqüentemente, a temperatura máxima deveria diminuir, e a mínima aumentar exponencialmente com o aumento da espessura. Na prática, o efeito quantitativo da espessura na temperatura superficial interna e na temperatura do ar também depende da ventilação e da cor externa (GIVONI, 1981).

Assim, a cor da superfície externa é da maior importância quando o fechamento tem pouca espessura, e pouca inércia térmica. Quando se aumenta a espessura, a inércia térmica passa a preponderar sobre a influência da cor (absortância).

### 3.5 Trocas térmicas entre a edificação e o meio

As trocas térmicas entre a edificação e o meio podem ocorrer por diferença de temperatura ou por radiação solar. Quando há incidência da radiação solar, há sempre um ganho de calor. Ocorrem perdas ou ganhos quando se trata da radiação de onda longa.

O fluxo de calor de um ambiente a temperatura  $t_e$  para outro ambiente a temperatura  $t_i$ , através de dado componente, em condições estacionárias (supondo-se temperaturas interna e externa constantes), por unidade de área, isto é, a densidade do fluxo de calor, é dada por:

$$q = U \cdot (t_e - t_i) \quad (\text{equação 5})$$

O coeficiente U da expressão acima combina vários coeficientes de transferência de calor, e é geralmente chamado de coeficiente global de transmissão térmica. Sua função é quantificar a capacidade do componente ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes separados pelo componente.

O coeficiente U é definido como o fluxo de calor que atravessa a unidade de área do componente, quando se estabelece uma diferença de temperatura unitária entre o ar confinante com suas faces opostas.

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_i}} \quad (\text{W/m}^2\text{°C}) \quad (\text{equação 6})$$

onde:

R: Resistência térmica global do componente ( $\text{m}^2\text{°C/W}$ )

U: coeficiente global de transmissão térmica ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$h_i$ : coeficiente de condutância térmica superficial interna ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$h_e$ : coeficiente de condutância térmica superficial externa ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

e: espessura da parede (m)

$\lambda$ : condutividade térmica do material ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

Quando as superfícies são expostas diretamente à radiação solar, há sempre um ganho de calor no ambiente interno. Esse ganho, para superfícies opacas, vai depender do coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) de radiação da superfície e da intensidade da radiação solar global incidente (I); depende também do coeficiente global de transmissão térmica (U), e do coeficiente de condutância térmica superficial externa ( $h_e$ ). O ganho de calor solar é dado por:

$$q = \alpha \cdot \frac{U}{h_e} \cdot I \quad (\text{equação 7})$$

A intensidade da radiação solar global incidente está relacionada com a orientação da superfície em relação ao sol, mas depende ainda da latitude do local, a estação do ano, hora do dia.

No caso de uma parede opaca exposta à radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de trocas podem ser esquematizados como na figura 3:

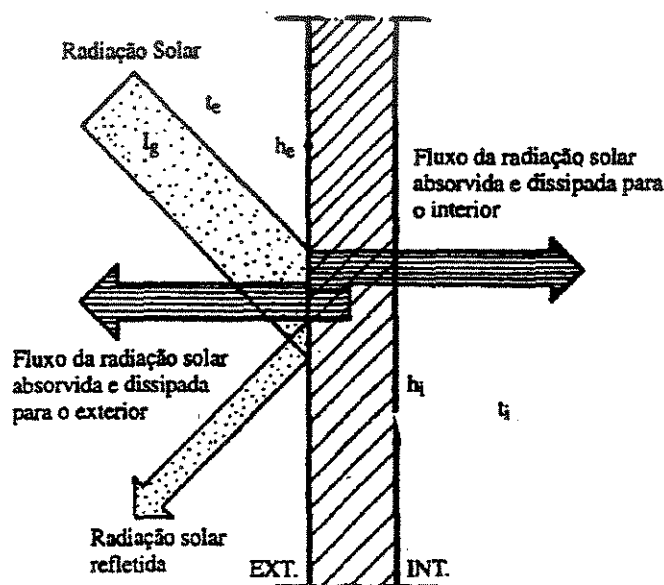


FIGURA 3 – Trocas de calor através de paredes opacas.

FONTE: FROTA & SCHIFFER, 1995.

A densidade de fluxo de calor ( $q$ ) que atravessa essa parede, por efeito da radiação solar incidente e da diferença de temperatura do ar é dada por:

$$q = \alpha \cdot \frac{U}{h_e} \cdot I + U \cdot (t_e - t_i) \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{equação 8})$$



onde:

U: coeficiente global de transmissão térmica ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$t_e$ : temperatura do ar externo ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\alpha$ : coeficiente de absorção da radiação solar

I: intensidade de radiação solar global incidente ( $\text{W/m}^2$ )

$h_e$ : coeficiente de condutância térmica superficial externa ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$t_i$ : temperatura do ar interno ( $^{\circ}\text{C}$ )

A parcela  $\alpha \cdot \frac{U}{h_e} \cdot I$  se refere ao ganho de calor solar, sendo  $\alpha \cdot \frac{U}{h_e} = S_{op}$ , fator de ganho

solar de material opaco, enquanto a parcela  $U \cdot (\Delta T)$  corresponde às trocas de calor por diferença de temperatura, podendo representar ganho, quando  $t_e > t_i$ , ou perda, quando  $t_i > t_e$ .

GIVONI (1981), menciona que o efeito da cor externa na temperatura do ar interno do ambiente depende de vários outros parâmetros, além da refletância, como por exemplo a resistência térmica e a capacidade térmica do edifício. Observa que em edifícios com baixos valores de U e com alta capacidade térmica (construção pesada), o efeito da cor externa não é tão significativo quanto para um edifício com baixa resistência térmica (altos valores de U) e baixa capacidade térmica.

Conforme BANSAL et al. (1992), espera-se que o efeito da cor da superfície externa na temperatura interna de um ambiente dependa também de outros parâmetros, que, do ponto de vista de um projeto passivo, são: (1) taxa de ventilação no edifício e (2) ganho de radiação solar direta para o interior do edifício.

Os autores afirmam, ainda, que o fluxo de calor entra num determinado ambiente de várias maneiras: por condução e convecção através das quatro paredes, telhado e piso; por convecção na forma de ventilação e infiltração; e por ganho direto através da área envidraçada das janelas.

Segundo BERDAHL & BRETZ (1997), as temperaturas superficiais externas podem ser reduzidas pelo aumento da refletância ou emissividade (de onda longa). Uma alta refletância reduz o ganho de calor, e uma alta emissividade aumenta o resfriamento radiativo. Geralmente, a aplicação de um revestimento de alta refletância na fachada externa de um edifício aumenta a refletância sem mudança considerável na emissividade.

A troca de calor por radiação entre duas superfícies quaisquer depende da emissividade dos corpos e de um fator, chamado *fator de forma*. Segundo INCROPERA & DE WITT (1990), fator de forma é definido como a fração de radiação emitida por uma determinada superfície e interceptada pela outra. O fator de forma pode ser aplicado a cada uma das componentes de um fechamento, pois toda radiação emitida por uma superfície deve ser interceptada pelas superfícies do fechamento, e a radiação total que incide numa superfície composta é a soma da radiação que incide em cada uma das superfícies do ambiente.

Para o intervalo de temperaturas em que se encontram os componentes construtivos, pode-se aproximar as trocas de calor por radiação para uma relação linear. Assim, define-se um coeficiente de radiação,  $h_r$ , tal que a densidade de fluxo de calor entre uma superfície, a temperatura  $t_s$ , e as superfícies circundantes, é igual a:

$$q_r = h_r \cdot (t_s - t_r) \quad (\text{equação 9})$$

onde  $t_r$  é a temperatura de radiação, ou temperatura radiante, calculada como a média ponderada das temperaturas de cada superfície pelas respectivas áreas (DREIFUS, 1960). O coeficiente  $h_r$  engloba a emissividade e o fator de forma (CROISET, 1970).

### 3.5.1 Efeitos combinados da radiação solar e condições do ar ambiente – a temperatura ar-sol

A transmissão de calor na superfície externa de elementos de uma edificação expostos à radiação solar é obviamente maior do que quando elementos similares não estão sujeitos à radiação. Mesmo sob condições de regime permanente, além do produto da transmitância pela diferença de temperatura, a densidade do fluxo de calor é determinada também pelo termo correspondente à radiação solar incidente, o qual depende da energia solar absorvida pelas superfícies. Nestas condições, a densidade de fluxo de calor sofre influência também da temperatura da superfície externa do elemento (GRANJA, 2002).

Levando-se em consideração este quadro físico, foi concebido o conceito da temperatura fictícia ar-sol. Ela pode ser definida como a temperatura do ar externo, que em contato com superfícies à sombra de qualquer material que não transmita radiação solar diretamente, causaria o mesmo fluxo de transmissão de calor e a mesma distribuição de temperatura através daquele material, quando exposto às condições existentes de temperatura do ar externo e da radiação solar incidente naquelas superfícies (MACKEY & WRIGHT, 1940).

A temperatura ar-sol é o resultado da soma de três temperaturas: a primeira é a temperatura do ar externo; a segunda representa a fração de radiação solar absorvida pela superfície na qual incide; e a terceira representa as trocas de calor radiante com o ambiente (GIVONI, 1981).

A fórmula geral para temperatura ar-sol é:

$$t_{sa} = t_e + \frac{\alpha \cdot I}{h_e} + (t_r - t_e) \cdot \frac{h_r}{h_e} \quad (\text{equação 10})$$

onde:

$t_{sa}$  : temperatura ar-sol

$t_e$  : temperatura do ar externo

$\alpha$  : absorptância da superfície externa

$I$  : intensidade da radiação solar incidente total na superfície

$h_e$  : coeficiente de condutância térmica superficial externa

$t_r$  : temperatura radiante do entorno

$h_r$  : coeficiente superficial de radiação externa

O uso da fórmula geral para temperatura ar-sol é um procedimento complexo, pois primeiramente seria necessário estimar o valor de  $t_r$  e  $h_r$ . Geralmente, adota-se uma forma simplificada da equação (GIVONI, 1981):

$$t_{sa} = t_e + \frac{\alpha \cdot I}{h_e} \quad (\text{equação 11})$$

### 3.6 O ganho solar em superfícies opacas

Na pesquisa bibliográfica foram encontrados vários artigos sobre a influência da radiação solar em superfícies opacas publicados na Grécia, onde os estudos foram realizados basicamente por um único autor (Athanasouli).

Em 1983, ATHANASSOULI & MASSOUROS estudaram a influência da radiação solar e de onda longa no ganho térmico de um ambiente com parede externa opaca. Foi obtida uma relação geral para o fluxo térmico do espaço fechado, através da parede, como função das características térmicas e estruturais da superfície, e das características de emissão de radiação do meio. Este modelo inclui explicitamente a radiação solar, a radiação do ambiente (onda longa) e a radiação das paredes internas do ambiente. A relação analítica foi confirmada experimentalmente, principalmente com referência à influência da radiação interna do ambiente no ganho térmico.

Já em 1988, ATHANASSOULI desenvolveu um modelo para o regime térmico transitório de uma parede opaca submetida à radiação solar até que seja alcançado o equilíbrio térmico. As conclusões foram baseadas na influência das características estruturais da parede no comportamento da mesma durante o regime transitório.

No ano seguinte, ATHANASSOULI avaliou a habilidade de uma parede externa opaca de um ambiente em armazenar energia térmica quando ela alcança o equilíbrio térmico sob radiação solar, e explorar essa energia durante o estado transiente do restabelecimento térmico da parede, após a interrupção do fluxo. Nesse trabalho, concluiu-se que a habilidade de uma parede em armazenar e explorar radiação solar é melhorada conforme se aumentam as capacidades térmicas por unidade de área e a condutividade térmica da parede, e conforme se diminui o coeficiente de convecção externo.

Com relação ao estudo das cores propriamente dito, pode-se citar o trabalho realizado no ano 2000, pelo Departamento de Física da Universidade de Patras, na Grécia, onde TRIPANAGNOSTOPOULOS et al. fizeram uma análise da eficiência de coletores solares com absorvedores coloridos (pretos, azuis e vermelhos escuros). Sabe-se que a eficiência do coletor solar depende significativamente da absorptância e da emitância da superfície onde a radiação solar incidente é convertida em energia térmica. Geralmente utiliza-se coletores da cor preta, a fim de se maximizar a absorção do espectro solar. Contudo, a integração de coletores solares em edifícios deveria ser compatível com o projeto arquitetônico, e coletores com absorvedores coloridos seriam esteticamente preferíveis.

BANSAL et al. (1992), fizeram uma experiência durante a primavera, na região de Nova Delhi, Índia, com dois protótipos idênticos, executados em madeira espessa de 25 mm, e com dimensões de 90 cm x 90 cm x 60 cm, com uma janela envidraçada de 18 cm x 24 cm na fachada sul. Havia também um beiral de 30 cm x 12 cm, acima da janela, para completo sombreamento da janela nos meses de Abril a Setembro (meses mais quentes na região de Delhi). Um dos protótipos foi pintado de preto e o outro de branco. Foram feitas medições horárias, durante 24 horas, da temperatura do ar e da radiação solar sob quatro condições:

- porta fechada (sem ventilação) e janela com proteção solar
- porta fechada (sem ventilação) e janela sem proteção solar
- porta aberta (com ventilação) e janela com proteção solar
- porta aberta (com ventilação) e janela sem proteção solar

Como era esperado, o fechamento de cor preta mostrou temperaturas mais elevadas que o branco, durante o dia; a maior diferença ocorreu para o caso sem ventilação e sem radiação direta através da janela. Durante a noite, as temperaturas internas do ar nos dois fechamentos foram as mesmas e iguais à temperatura ambiente, considerando algumas imprecisões experimentais. A razão para esse comportamento é a baixa capacidade térmica dos fechamentos.

As conclusões apresentadas neste trabalho enfatizam que a cor da superfície externa possui considerável efeito no desempenho térmico de uma edificação, com relação à temperatura interna (do ambiente). Um ambiente pintado de branco registra 6°C a menos na temperatura, no verão, do que o ambiente correspondente pintado de preto; e registra 4°C a menos durante o inverno, mesmo quando são possíveis trocas de ar no ambiente.

SEKER & TAVIL (1996), fizeram uma avaliação da rugosidade da superfície externa de edifícios. Nesse estudo, foram avaliados os níveis de rugosidade de materiais de acabamento externo, com a mesma cor e estrutura. O ganho de energia solar das superfícies opacas foi determinado através de um método experimental, e foi sugerida uma relação entre absorvância solar e rugosidade da superfície.

Neste mesmo estudo, pôde ser observado que as absorvâncias das amostras, com estrutura e cor similares, medidas nas mesmas condições, tiveram comportamentos diferenciados. Conforme se aumentava a rugosidade, a superfície absorvia mais energia solar. A absorvância de superfícies brancas variou entre 10 e 30%. Quando a rugosidade de uma superfície branca aumentava 1 mm, o aumento de energia absorvida pela mesma era de 23%. Concluiu-se, então, que, ao selecionar o acabamento externo de uma edificação, a rugosidade da superfície se torna uma das características de grande influência no ganho de calor devido à radiação solar (SEKER & TAVIL, 1996).

Ainda com relação à rugosidade, BERDAHL & BRETZ (1997), fizeram uma pesquisa sobre a refletância solar de materiais de telhados, e afirmaram que a rugosidade diminui a refletância de uma superfície. Como a refletância é a probabilidade de um fóton incidente ser refletido quando o mesmo encontra uma superfície, se a superfície em questão for mais rugosa que lisa, provavelmente o fóton que for refletido requeira uma ou mais refletâncias adicionais antes de escapar. Assim, aumenta-se a probabilidade de absorção. Neste estudo, foram feitas duas experiências com revestimento branco para telhados: uma com o revestimento aplicado em um substrato de vidro, e outra com o substrato aplicado em sarrafo de asfalto. Observou-se que o formato das curvas de refletância era muito similar, porém, a superfície mais rugosa apresentou apenas  $\frac{3}{4}$  da refletância da superfície mais lisa. Notou-se, ainda, que um material refletivo recebe muita influência da rugosidade, pois a refletância de 80% para o revestimento branco no vidro caiu para 60% na superfície rugosa do sarrafo. Assim, é nítido que a rugosidade dos sarrafos asfálticos contribui significativamente para sua baixa refletância.

BRETZ & AKBARI (1997), avaliaram, através da técnica espectrofotométrica, o desempenho a longo prazo de revestimentos de telhados com alto albedo<sup>1</sup>, e afirmaram que um substrato rugoso pode ter um albedo superficial menor que um substrato médio ou liso, devido a efeitos geométricos (refletâncias múltiplas) e às partículas suspensas de ar que se acumulam nas depressões da superfície. Os autores citam BYERLEY & CHRISTAN (1994), concluindo que, para revestimentos brancos comuns, a maior parte da diminuição do albedo ao longo do tempo é causada pela acumulação de partículas suspensas no ar, e não pela degradação permanente causada pela radiação solar. Neste estudo, os autores concluíram que a maior degradação no albedo dos revestimentos ocorreu no primeiro ano de aplicação, mais especificamente nos dois primeiros meses de exposição. Após o primeiro ano, o albedo diminuiu mais vagarosamente, e, após o segundo ano, foram observadas pequenas perdas. Ainda foi possível notar que, nesse declínio, o que importa é o valor absoluto, e não a porcentagem em relação ao albedo original, e que a alteração ao longo do tempo depende do próprio revestimento, da textura da superfície, do formato do telhado e da poeira ao redor.

---

<sup>1</sup> Albedo é sinônimo de refletância solar; para telhados, geralmente se utiliza o termo albedo.

### 3.7 Algumas considerações sobre Cor

A maioria das pessoas sabe que se um feixe de luz, a partir do sol, atravessa um prisma, cria-se uma distribuição de cores como um arco-íris. A distribuição das cores é chamada de espectro (do latim *spectrum* = fantasma, aparição); a separação da luz em um espectro é chamada de dispersão espectral. O olho humano pode perceber o espectro devido aos comprimentos de onda que estimulam a retina (MINOLTA, 1998).

Conforme PILOTTO NETO (1980), "... a cor é a propriedade que os corpos possuem de, quando iluminados, aparecerem aos nossos olhos com diferentes tonalidades. Essa propriedade não é fixa, nem permanente, dependendo da composição espectral da luz que o ilumina".

Conceito físico: a cor é uma parte do espectro eletromagnético que, ao estimular o olho humano, permite distinguir diferenças na qualidade de sensação visual provocada pela luz. Como fenômeno físico, a cor é mensurável em relação ao comprimento de onda. A luz visível é composta de diversos comprimentos de ondas compreendidos entre 380 e 760 nm. A cada comprimento de onda, delimitado nessa faixa, corresponde uma sensação particular de cor. No quadro 2 são apresentados os comprimentos de onda correspondentes a cada cor.

#### QUADRO 2

Comprimentos de onda correspondentes a cada cor

COR	COMPRIMENTO DE ONDA
Violeta	380 a 450 nm
Azul	450 a 490 nm
Verde	490 a 560 nm
Amarelo	560 a 590 nm
Laranja	590 a 630 nm
Vermelho	630 a 760 nm

FONTE: PILOTTO NETO, 1980. pág. 98



Sendo a cor de um corpo a faculdade que este possui de absorver uma parte da luz que incide sobre ele, refletindo o restante, um objeto iluminado com luz branca apresentará uma coloração vermelha se refletir as ondas cujo comprimento estiver na faixa de 630 a 760 nm, e absorver as demais.

A cor de um objeto é devida à luz refletida, e depende da maneira seletiva com que o objeto absorve a radiação visível incidente. Se um objeto é vermelho, é porque a maior parte do vermelho incidente é refletida e portanto dá a cor a ele. Se o objeto absorve o azul, a luz refletida será uma mistura de vermelho e verde, resultando na cor amarela (PEDROSA, 1982).

A figura 4 a seguir, apresenta um gráfico de refletância espectral, para ilustrar melhor o comportamento das cores nos respectivos comprimentos de onda.

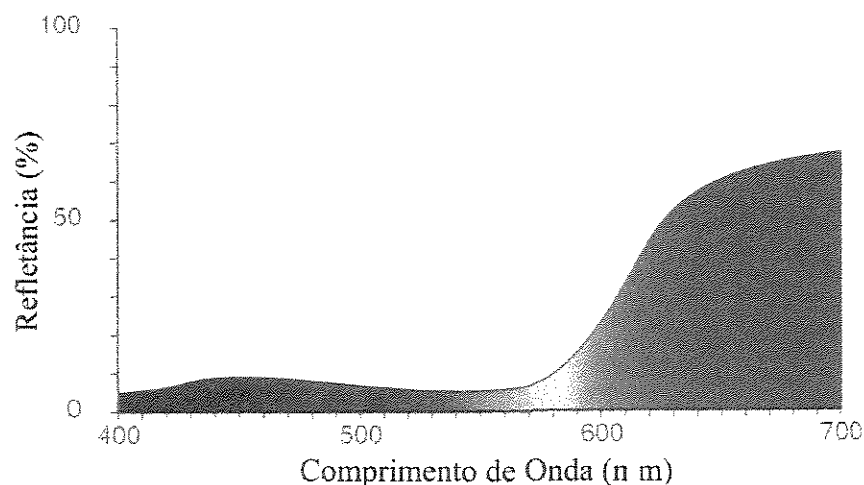


FIGURA 4 – Gráfico de refletância espectral  
FONTE: MINOLTA, 1998.

Conceito subjetivo: a cor é a resposta a um estímulo luminoso captado pelo órgão da visão e transmitido ao cérebro, onde é interpretado. Dessa forma, a cor é uma sensação que depende de diversos fatores, tais como: posição que ocupa dentro de um conjunto de cores, iluminação que recebe, composição com outras cores, etc. Como entidade subjetiva, a cor não pode ser especificada com o rigor das leis científicas, razão pela qual só se torna possível defini-la por um sistema de comparações (PILOTTO NETO, 1980).

Para diferentes comprimentos de onda, temos diferentes reações do olho humano. A grandeza que relaciona a visão ao comprimento de onda se chama sensibilidade relativa do olho humano ( $V_\lambda$ ).

Para a região do visível, os valores de  $V_\lambda$  são apresentados na tabela 1, a seguir.

TABELA 1

Sensibilidade relativa ao olho humano ( $V_\lambda$ ) em função do comprimento de onda ( $\lambda$ ).

$\lambda$ (nm)	$V_\lambda$ (%)
400	0,04
450	3,8
500	32,3
550	99,5
555	100,0
560	99,5
590	75,7
650	10,7
700	0,41
760	0,0006

FONTE: FRISH & TIMOREVA, 1973.

Como se verifica pela tabela, a sensibilidade do olho humano apresenta seu máximo, para altos níveis de iluminação (visão diurna), em  $\lambda$  igual a 555 nm, referente à cor verde-amarela. Para níveis de iluminação mais baixos (visão noturna), o comprimento de onda correspondente ao máximo cai para 508 nm. Para todos os outros valores de  $\lambda$ , dentro do espectro

visível,  $V_\lambda$  é menor que 100%, sendo igual a zero para as demais radiações (infravermelho ou ultravioleta) (FRISH & TIMOREVA, 1973).

### 3.8 Resultados conhecidos sobre refletância de cores

Hoje em dia, poucos trabalhos têm sido realizados levando-se em conta a cor da parede externa relacionada com o desempenho térmico de edificações.

Um desses trabalhos é o de OITICICA et al. (2000), onde foi medida a refletância de cores em superfícies construtivas de acabamentos variados, adotando-se a cor branca como 85% de reflexão e medindo-se a refletância de outras cores, sempre em relação à cor branca. Para isso, foi construído um céu artificial encoberto e foram dispostas no seu interior placas de texturas e cores diversas, obtendo-se valores de refletância para os diversos casos estudados, utilizando o medidor de luminância. Esses valores foram adicionados aos catálogos de um fabricante local de tintas e revestimentos (IBRATIN), criando-se subsídios para auxiliar os usuários diretamente nos cálculos de iluminação dos espaços.

Atualmente, encontra-se uma grande variedade de cores disponíveis, enriquecendo as possibilidades estéticas dos projetos arquitetônicos. Dispõe-se, entretanto, na literatura técnica, de apenas alguns valores de refletâncias médias em superfícies. Da mesma forma, os fabricantes nacionais de tintas não exibem, em geral, esse tipo de informação para o usuário.

Como exemplo de informações imprecisas encontradas na literatura técnica brasileira com relação a refletância e absorvância de cores, são apresentadas a seguir quatro tabelas<sup>2</sup>, numeradas de 2 a 5, onde estão indicados as refletâncias ou absorvâncias de diferentes cores.

---

<sup>2</sup> As tabelas são apresentadas com a nomenclatura original.

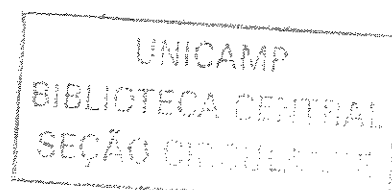


TABELA 2  
Absorção em função da cor

<b>CORES</b>	<b>ABSORÇÃO (<math>\alpha</math>)</b>
Escuras	0,7 a 0,9
Médias (Tijolos)	0,5 a 0,7
Claras	0,2 a 0,5

FONTE: LAMBERTS et al. – *Eficiência Energética na Arquitetura*, 1997

Na tabela acima, constam somente três valores de absortância, dividindo as cores em apenas três grupos: cores escuras, médias e claras. O intervalo das absortâncias é muito grande para cada tipo analisado. Por exemplo, a absortância das cores claras compreende de 0,2 até 0,5. Além disso, se estamos analisando uma cor que forneceu 0,5 no valor de absortância, não sabemos se essa cor se encaixa nas cores claras ou médias. E assim também ocorre para as cores médias e escuras.

TABELA 3

Fatores de reflexão ( $\rho$ ) de diferentes cores (%)

<b>CORES</b>	<b><math>\rho</math> (%)</b>
Escuras	15-30
Médias	30-50
Claras	50-70
Muito claras	50-70
Branças	85-95
Cinzenta	25-60
Parda	8-50
Pérola	72
Alumínio polido	60-70
Cromo	60-65
Aço inox	55-65
Esmalte	60-90
Amarelas	30-70
Azul	5-55
Bege	25-65
Branca	85-95
Casca de ovo	81
Creme	60-68
Marfim	71-77
Espelhos	80-90
Preta	4-8
Rosa	35-70
Verde	12-60
Vermelha	10-35

FONTE: MASCARÓ, L. R. - *Energia na Edificação*, 1991 cita Cintra do Prado, L. - *Iluminação natural*, 1961

Um fato que deve ser observado nessa tabela, é que para cores claras e muito claras, o intervalo obtido para refletância é o mesmo (entre 50 e 70% de refletância).

Além disso, algumas cores têm o intervalo muito grande; como exemplo, pode-se citar a cor azul, que abrange 5 a 55% de refletância, e a cor verde, de 12 a 60%.

TABELA 4  
Valores de Coeficientes de Absorção ( $\alpha$ ) e Emissividade ( $\epsilon$ )

<b>SUPERFÍCIE</b>	Absorção para Radiação solar	Absorção e emissividade Para temperatura entre 10 e 40° C
Preto fosco	0,85 - 0,95	0,90 - 0,98
Tijolo ou pedra ou telha cor vermelha	0,65 - 0,80	0,85 - 0,95
Tijolo ou pedra cor amarela, couro	0,50 - 0,70	0,85 - 0,95
Tijolo ou pedra ou telha cor amarela	0,30 - 0,50	0,40 - 0,60
Vidro da janela	Transparente	0,90 - 0,95
Alumínio, ouro, bronze (brilhantes)	0,30 - 0,50	0,40 - 0,60
Latão, alumínio fosco, aço galvanizado	0,40 - 0,65	0,20 - 0,30
Latão, cobre (polidos)	0,30 - 0,50	0,02 - 0,05
Alumínio, cromo (polidos)	0,10 - 0,40	0,02 - 0,04

FONTE: FROTA E SCHIFFER, 1995 cita KOENIGSBERGER et al., 1977

Um fato curioso nesta tabela 4 é que o vidro está sendo considerado transparente para a absorção da radiação solar. Na verdade, tem-se uma pequena absorção. Para vidros comuns com espessura de 5 mm, por exemplo, tem-se uma absorvância de 8% (SANTA MARINA, s/d ).

TABELA 5

Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e Emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

<b>TIPO DE SUPERFÍCIE</b>	<b>ABSORTÂNCIA (<math>\alpha</math>)</b>	<b>EMISSIVIDADE (<math>\epsilon</math>)</b>
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro comum de janela	Transparente	0,90 / 0,95
<b>Pintura:</b>		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde claro	0,40	0,90
"alumínio"	0,40	0,50
Verde escuro	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

FONTE: ABNT, 1998.

Novamente, na tabela 5, o vidro é considerado como transparente para absorção. Além disso, esta tabela, apresentada na proposta de normalização da ABNT, não cita a fonte dos dados apresentados.

Algumas conclusões podem ser obtidas com relação às quatro tabelas apresentadas. Pode-se observar a grande amplitude nos intervalos de absortância, refletância e emissividade, além de uma indefinição de cores; o que nos reforça a suprema necessidade de valores mais exatos para os coeficientes. Além disso, os valores são mais comumente encontrados na literatura internacional, sendo freqüentemente adotados pelos autores nacionais.

Nota-se, ainda, que as tabelas citadas pelos autores nacionais estão defasadas de pelo menos duas décadas, sendo de suma importância a atualização dos valores refletância.

Segundo BERDAHL & BRETZ (1997), "... somente algumas informações limitadas sobre albedo (refletância solar) têm sido publicadas." Os autores citam TOULOUKIAN (1972), que apresentou uma compilação de dados espectrais de vários materiais, inclusive pinturas brancas contendo pigmentos de dióxido de titânio. Assim, a refletância solar pôde ser considerada baseada em valores publicados no intervalo de 300 a 2500 nm. Citam, ainda, TAHA (1992), que apresentou alguns resultados de refletância a partir de medições de campo. REAGAN & ACKLAM (1979), também citados pelos autores, publicaram algumas tabelas de refletância de materiais de construção comuns, como parte de um estudo sobre temperaturas de telhados. Os autores comentam, ainda, que "... quando um valor de refletância é citado na literatura, devem ser fornecidos detalhes suficientes para que o leitor possa determinar se o que está definido é a refletância no visível, refletância solar ou algum outro tipo de refletância".

Na pesquisa feita pelos autores supracitados, foi determinada a refletância espectral difusa no intervalo de 300 a 2500 nm, de pintura branca acrílica, utilizando-se um espectrofotômetro de duplo-feixe, equipado com o acessório esfera integradora. O feixe atinge a amostra num ângulo de 8° com a normal, e as refletâncias difusa e especular são coletadas pela esfera. Observou-se que a alta absorção na região do ultravioleta para o pigmento analisado é



considerada um fator favorável, pois a absorção do ultravioleta ajuda a proteger o polímero e o substrato (BERDAHL & BRETZ, 1997).

### 3.9 Métodos para determinação da refletância

Neste item serão descritos de forma sucinta dois métodos conhecidos utilizados para se medir a refletância de cores, no Brasil. Os métodos são: o medidor de luminância e o espectrofotômetro. Algumas vantagens do espectrofotômetro em relação ao medidor de luminância serão salientadas.

#### Medidor de luminância x Espectrofotômetro

O medidor de luminância trabalha somente na região do visível e fornece a refletância total, enquanto o espectrofotômetro abrange o ultravioleta, visível e infravermelho, e fornece valores de refletância em qualquer região do espectro. Portanto, nesta pesquisa optou-se por se utilizar o espectrofotômetro, como uma nova opção de se obter a refletância das cores, com grandes vantagens em relação ao medidor de luminância.

No método do medidor de luminância, adota-se uma cor branca qualquer como referência, atribui-se a essa cor 85% de refletância e as medidas são feitas em relação a esse branco. Logicamente é um método válido para cálculos das refletâncias, principalmente quando não se dispõe de um espectrofotômetro. Porém, o medidor de luminância apresenta um erro experimental maior.

Pode-se citar o trabalho de OITICICA et al. (2000), já mencionado anteriormente, que utilizou o medidor de luminância para obter as refletâncias de várias cores, de forma que os dados

obtidos fossem adicionados a catálogos de fabricantes locais de tintas, podendo auxiliar os usuários diretamente nos cálculos de iluminação dos espaços.

O espectrofotômetro utiliza uma referência internacional, que são as pastilhas de sulfato de bário, inseridas no equipamento através de um acessório, chamado esfera integradora. Estas pastilhas possuem 99,8% de refletância. Todas as outras medidas são feitas em função desse branco, portanto, é importantíssimo obter um branco confiável. Além dessa grande vantagem do espectrofotômetro em relação ao medidor de luminância, pode-se também citar a precisão nas medidas obtidas com o espectrofotômetro, e a obtenção dos resultados em intervalos de comprimento de onda de 1 nm permitindo escolher a região de interesse. O funcionamento do espectrofotômetro será discutido no capítulo seguinte, no item equipamentos.

BRETZ & AKBARI, 1997, fizeram medições de albedo de coberturas em laboratório, e utilizaram a esfera integradora acoplada a um espectrofotômetro. Com este dispositivo, é possível medir as características espectrais de um material na região entre 300 e 2500 nm. A refletância é medida com referência a um padrão altamente refletivo, o sulfato de bário. As vantagens de se obter valores de refletância em laboratório são que as medições podem ser mais facilmente controladas que as medições de campo.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item, procura-se descrever os materiais utilizados, os métodos de análise das cores, bem como a utilização dos equipamentos e materiais.

Esta dissertação se desenvolveu em três fases distintas, que serão descritas a seguir.

Na primeira fase foram feitas análises espectrofotométricas de amostras pertinentes a um catálogo do fabricante Tintas Coral, no intervalo de 350 a 800 nm, compreendendo apenas a região do visível. Esta foi uma fase preliminar, onde o principal intuito era testar e averiguar as condições dos equipamentos com relação às amostras retiradas do catálogo.

Na segunda fase do trabalho decidiu-se ampliar o intervalo das medições, para abranger não somente a luz visível, mas todo o espectro, pois o interesse era averiguar o ganho de calor e sua atenuação através da escolha adequada da cor externa. A partir daí, foram feitas análises espectrofotométricas das mesmas amostras da fase anterior, porém, no intervalo de 300 a 2500 nm. Portanto, a segunda fase engloba a primeira. Ainda nesta segunda fase foram analisadas somente amostras retiradas do catálogo.

A terceira fase surgiu para complementar o trabalho, sendo analisadas amostras de tintas retiradas do catálogo de fabricante, como também ensaiadas amostras de tintas pintadas em pastilhas de argamassa de cimento.

No decorrer do trabalho houve várias tentativas de se obter o fornecimento de amostras de tintas, através de visita a fábrica e lojas de tintas. Finalmente, foram obtidas amostras de tintas da marca Suvinil. Por isso, como as pastilhas foram pintadas com essa tinta, optou-se por se fazer as análises a partir do próprio catálogo da Suvinil. Assim, tornou-se possível agrupar resultados de amostras de superfícies reais (pastilhas pintadas) e de catálogo.

Os materiais e equipamentos utilizados em cada fase estão descritos a seguir. Cabe ressaltar que os equipamentos utilizados nas três fases foram os mesmos, alterando-se apenas os materiais.

#### 4.1 Materiais da Fase 1

Nesta fase preliminar os materiais utilizados constaram de 16 amostras de tinta acrílica retiradas do catálogo da fabricante Tintas Coral, escolhidas aleatoriamente. Essas amostras foram cortadas no tamanho aproximado de 25mm por 25mm, pois este formato apresenta uma melhor adequação junto ao suporte do espectrofotômetro.

As amostras de cores ensaiadas são listadas a seguir.

Amarelo Vanilla

Branco Gelo

Branco Neve

Marfim

Palha

Azul Arpoador

Azul Profundo

Cinza Citrino

Cinza

Concreto  
Pêssego  
Preto  
Rosa Pétala  
Vermelho Cardinal  
Verde Palmares  
Verde Piscina

A nomenclatura das cores provém do próprio catálogo da Coral Tintas.

A figura 5 mostra as cores ensaiadas, nomeadas da esquerda para a direita:

Branco Neve, Branco Gelo, Palha, Marfim, Amarelo Vanilla  
Rosa Pétala, Pêssego, Cinza, Cinza Citrino, Concreto  
Verde Palmares, Verde Piscina, Azul Arpoador, Azul Profundo, Vermelho Cardinal  
Preto

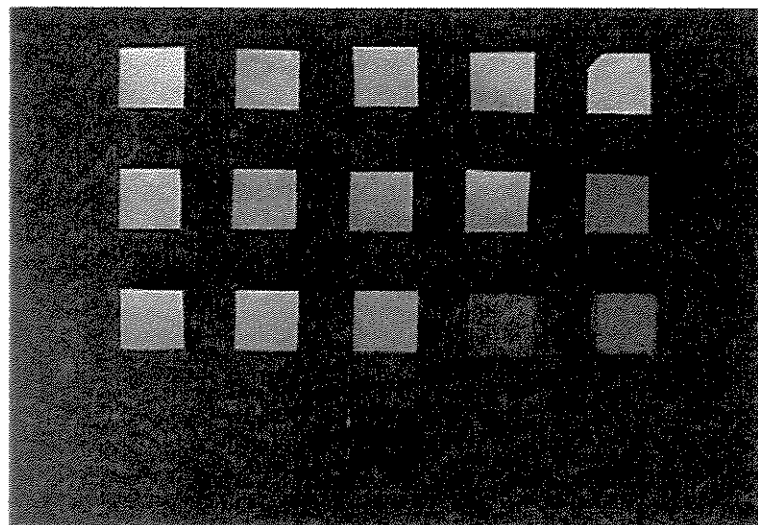


FIGURA 5 – Cores ensaiadas retiradas do catálogo da Coral Tintas

## 4.2 Materiais da Fase 2

Nesta segunda fase os materiais utilizados foram os mesmos da fase 1. A diferença entre a fase 1 e a fase 2 consiste na alteração do intervalo de medição das amostras, de 350 a 800 nm na fase 1 para 300 a 2500 nm na fase 2.

## 4.3 Materiais da Fase 3

Nesta fase de complementação do trabalho, os materiais utilizados consistiram de pastilhas pintadas com amostras de tintas fornecidas, além de amostras retiradas do catálogo da SuviniL.

A seguir, relacionam-se os materiais e sua preparação para se realizar as análises espectrofotométricas.

### 4.3.1 Amostras de tintas e amostras do catálogo

Conforme BORGES et al. (1996), as tintas são compostas por: pigmento, veículo, solventes e aditivos. Os pigmentos são partículas sólidas e insolúveis, podendo ser ativos e inertes. Os pigmentos ativos são os responsáveis pela cor da tinta e os inertes pela consistência e dureza. O veículo é o responsável pela formação da película protetora, em que a tinta, depois de seca, se transforma. O veículo é constituído por resinas. Os solventes são utilizados tanto na fabricação das tintas como na aplicação das mesmas, visando facilitar a aplicação sobre a superfície a ser recoberta. Os aditivos são produtos químicos, incorporados às tintas, a fim de lhes conferir algumas características especiais.

Atualmente, o látex é o tipo de tinta mais utilizado, para pinturas de paredes em geral. Existem dois tipos de látex: PVA e acrílico. O látex PVA é composto à base de resina de acetato de polivinila (PVA), pigmentos, solventes e aditivos. É mais indicado para pinturas internas, mas pode também ser utilizado em pinturas externas, podendo ser aplicado diretamente sobre o reboco, sobre massa corrida ou sobre massa acrílica. Já o látex acrílico é um produto à base de resina acrílica estirenada, pigmentos, aditivos e solventes. É indicado para pinturas externas e internas sobre reboco, massa corrida e massa acrílica, possuindo uma resistência maior que o látex PVA, sendo por isso mais indicado para superfícies externas (BORGES et al., 1996).

Especificamente neste trabalho analisou-se amostras de tintas látex acrílicas e PVA, sendo 12 amostras de tinta acrílica e 3 amostras de tinta látex PVA. Além dessas análises, foram feitas 22 análises a partir de um catálogo da fabricante Tintas Suvinil, com o intuito de se comparar os resultados de refletância obtidos com as amostras pintadas e com as amostras retiradas do catálogo. A partir do catálogo da Suvinil, foram analisadas 18 amostras de tinta acrílica e 4 amostras de tinta látex PVA. Portanto, foram obtidos os valores da refletância de um total de 37 análises espectrofotométricas.

Cabe ressaltar que a opção por se analisar algumas tintas látex PVA, que, teoricamente são mais utilizadas para pintura interna, foi com o intuito de se incluir na análise cores mais escuras como vermelho, preto e azul profundo. Além disso, as tintas látex PVA, por possuírem um custo mais baixo que as acrílicas, muitas vezes são utilizadas em pintura externa, que é objeto deste trabalho.

#### **4.3.2 Seleção e preparo das amostras**

As amostras estão divididas em dois grupos principais: o primeiro é o das amostras ensaiadas em superfície real, e o segundo é o grupo das amostras retiradas do próprio catálogo do fabricante.

#### 4.3.2.1 Amostras ensaiadas em superfície real

Com o intuito de se obter resultados mais próximos à superfície real, foram confeccionadas “pastilhas” de argamassa de cimento, no tamanho de 25 x 25 mm, que, depois de secas, foram pintadas com 2 demãos de massa corrida e, depois, 3 demãos das tintas fornecidas pela fabricante Suvinil Tintas, para que se pudesse comparar os efeitos da pintura nestas condições. Tomou-se o cuidado de se obter amostras com superfície bem lisa, para diminuir ao máximo o efeito de rugosidades nos resultados de refletância.

O formato quadrado das pastilhas apresenta uma melhor adequação junto ao suporte do espectrofotômetro, permitindo melhor fixação e assegurando maior estabilidade quanto ao manuseio no momento de ensaiá-las.

Foram fornecidas 15 pequenas quantidades de tintas para a pintura das pastilhas, nas seguintes cores:

##### Látex Acrílicas:

Alecrim

Areia

Azul bali

Branco

Flamingo

Gelo

Marfim

Mel

Palha

Pêssego

Telha

Vanilla



Látex PVA:

Azul profundo

Preto

Vermelho cardinal

Estas pastilhas, depois de pintadas, consistiram nas amostras a serem ensaiadas.

A figura 6 ilustra as pastilhas analisadas, nomeadas da esquerda para a direita:

Branco, Gelo, Palha, Marfim, Areia

Vanilla, Mel, Pêssego, Flamingo, Telha

Alecrim, Azul Bali, Azul Profundo, Vermelho Cardinal, Preto

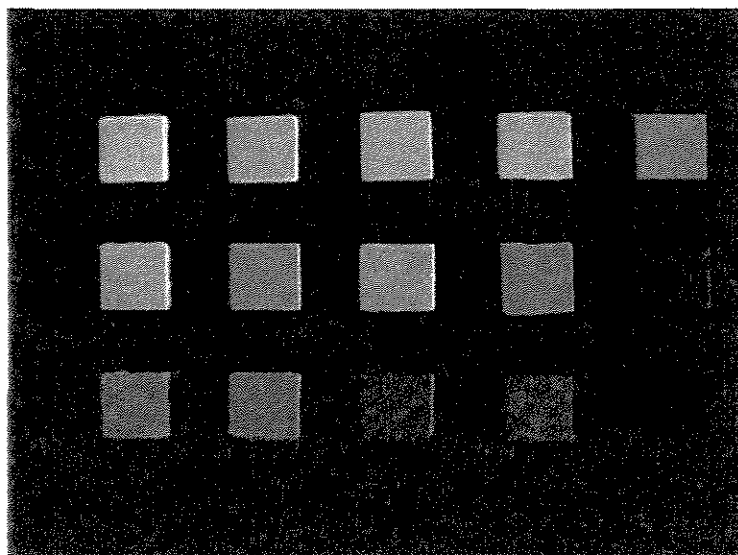


FIGURA 6 – Pastilhas ensaiadas

#### 4.3.2.2 Amostras do catálogo

Como as amostras de tintas foram fornecidas pela Suvinil Tintas, optou-se por fazer as análises com amostras do próprio catálogo da Suvinil.

As amostras foram cortadas no próprio formato apresentado no catálogo.

Foram analisadas 22 cores, sendo 15 correspondentes àquelas tintas fornecidas, e 7 diferentes, com o intuito de se abranger um número maior de cores, relacionadas a seguir.

##### *Cores correspondentes às tintas fornecidas:*

##### Acrílicas:

Alecrim

Areia

Azul Bali

Branco

Flamingo

Gelo

Marfim

Mel

Palha

Pêssego

Telha

Vanilla

##### PVA:

Azul Profundo

Preto

Vermelho Cardinal

Cores diferentes:

Acrílicas:

Atlantis  
Camurça  
Concreto  
Damasco  
Marrocos  
Pérola

PVA:

Verde Musgo

A figura 7 exhibe as cores retiradas do catálogo, nomeadas da esquerda para a direita:

Branco Neve, Atlantis, Gelo, Pérola, Palha  
Marfim, Vanilla, Mel, Marrocos, Areia  
Camurça, Damasco, Pêssego, Flamingo, Alecrim  
Azul Bali, Azul Profundo, Concreto, Verde Musgo, Telha  
Vermelho Cardinal, Preto

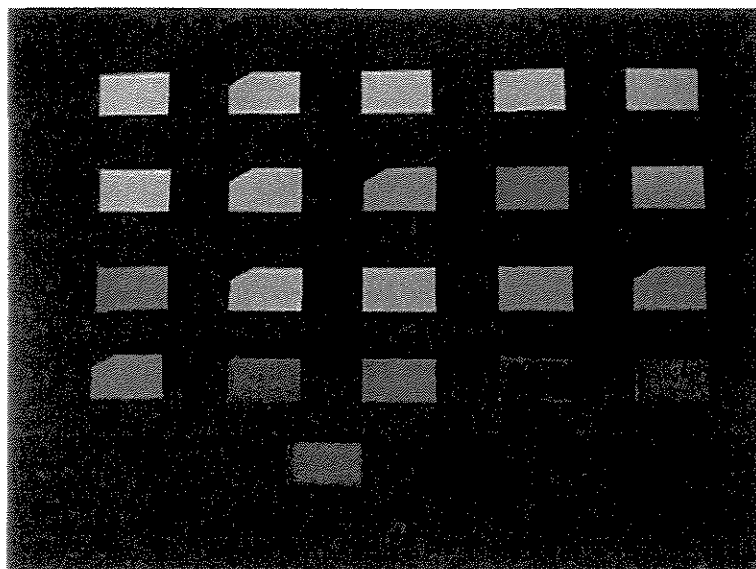


FIGURA 7 – Cores ensaiadas retiradas do catálogo da Suvinil Tintas

#### 4.4 Equipamentos

##### 4.4.1 O Espectrofotômetro

A análise por espectrofotometria é o meio mais indicado para a obtenção das respostas que o trabalho propõe atingir. O equipamento fornece informações quanto à porcentagem de transmissão, reflexão e absorção das amostras. Para operar no modo transmissão não há a necessidade de acessórios para o equipamento, mas, para operar no modo reflexão, objeto deste trabalho, é necessária a utilização de um acessório adicional, chamado esfera integradora, que permite detectar a distribuição difusa da luz.

Atualmente os espectrofotômetros encontram-se automatizados, facilitando a operação tanto em termos da seleção da região espectral quanto da obtenção e manipulação dos próprios resultados, além da troca automática das fontes e dos detetores do equipamento.

As análises óticas foram realizadas em espectrofotômetro marca HITACHI, modelo U-3501, localizado no Instituto de Química da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/ USP, que permite a aquisição de dados de reflexão. O instrumento consiste de uma fonte de luz, monocromadores, células de referência e detetores. O espectrofotômetro utilizado varre a região espectral relativa ao ultravioleta, visível e infravermelho-próximo, abrangendo o intervalo de 190 a 3200 nm, possibilitando escolher exatamente as regiões do espectro que interessam.

O equipamento é ilustrado na figura 8, a seguir.



FIGURA 8 – Espectrofotômetro

#### 4.4.2 A Esfera Integradora

Antes de descrever a esfera propriamente dita, serão introduzidos alguns conceitos sobre reflexão, segundo SILVA (1977).

A reflexão da luz ocorre sempre que os raios luminosos encontram a superfície de separação entre dois meios, sendo o primeiro transparente e o segundo qualquer. Admitindo-se que o primeiro meio seja o ar e o segundo uma substância perfeitamente opaca, e considerando apenas um raio luminoso de luz monocromática, podem ocorrer três casos de reflexão:

1º caso:

A superfície é polida ou espelhada. O raio luminoso reflete-se integralmente, a menos de uma parcela absorvida. Neste caso, diz-se que a superfície é especular e a luz refletida será luz dirigida.

2º caso:

A superfície é despolida, mas lisa. O raio de luz incidente decompõe-se em um fecho luminoso que tem uma direção geral segundo a lei de reflexão, mas essa direção é pouco precisa, havendo uma predominância na direção da reflexão. Não é possível perceber imagem nítida nesse tipo de reflexão.

3º caso:

A superfície é áspera ou micro-ondulada, como o papel, o gesso, etc. O raio luminoso se decompõe em todas as direções, tornando-se impossível determinar a direção de incidência da luz. Geralmente essas superfícies se apresentam uniformemente iluminadas. Diz-se então que a superfície é fosca e que a luz refletida é difusa.

Neste trabalho, as amostras ensaiadas, tanto as pastilhas quanto as amostras do catálogo, se enquadram no terceiro caso.

#### ESFERA INTEGRADORA:

É um acessório de 60 mm de diâmetro colocado em um compartimento do espectrofotômetro, tendo a função de permitir a distribuição difusa da luz. A esfera integradora é usada para medições de transmitância de amostras translúcidas e de refletância de amostras sólidas.

A parede interna da esfera é provida de uma pintura branca altamente refletiva (pastilhas de sulfato de bário). O sulfato de bário é uma referência internacional, sendo sua refletância considerada 99,8 % (HITACHI, s/d).

Conforme nota técnica publicada por FENDLEY (1985), entre 370 e 1100 nm a refletância do pó de sulfato de bário excede 0,99, mas este valor cai consideravelmente fora deste intervalo. Em 2500 nm, a refletância do sulfato de bário é menor que 0,7, conduzindo a erros maiores que 40% na determinação da refletância de uma amostra difusa, caso o manual de procedimentos da esfera seja seguido.

A figura 9 mostra a esfera integradora.

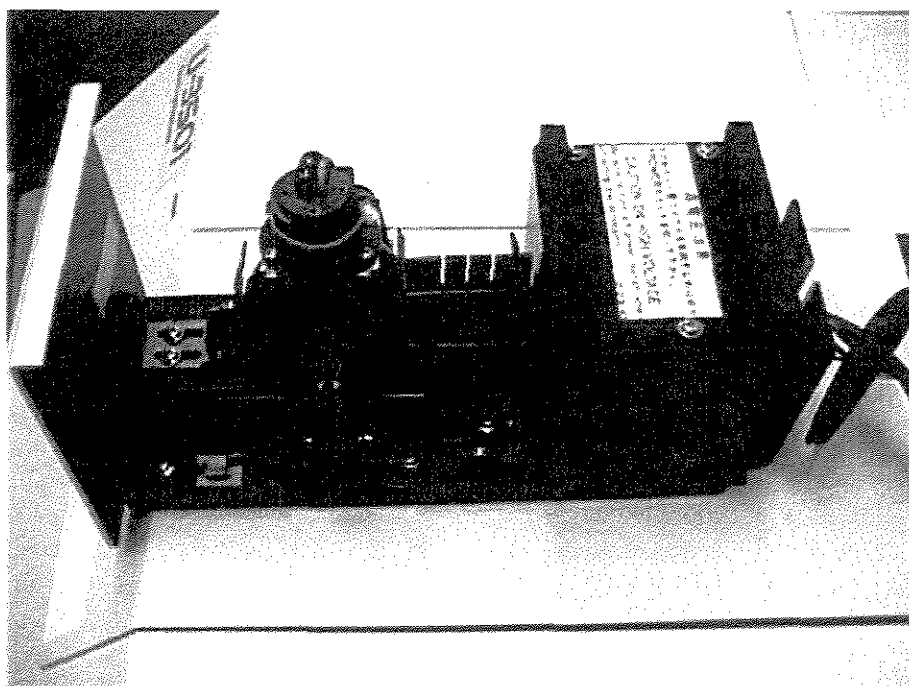


FIGURA 9 - Esfera integradora

A figura 10 exibe o compartimento do espectrofotômetro onde é colocada a esfera integradora.



FIGURA 10 – Compartimento da esfera integradora

A figura 11, a seguir, ilustra o princípio de funcionamento da esfera.



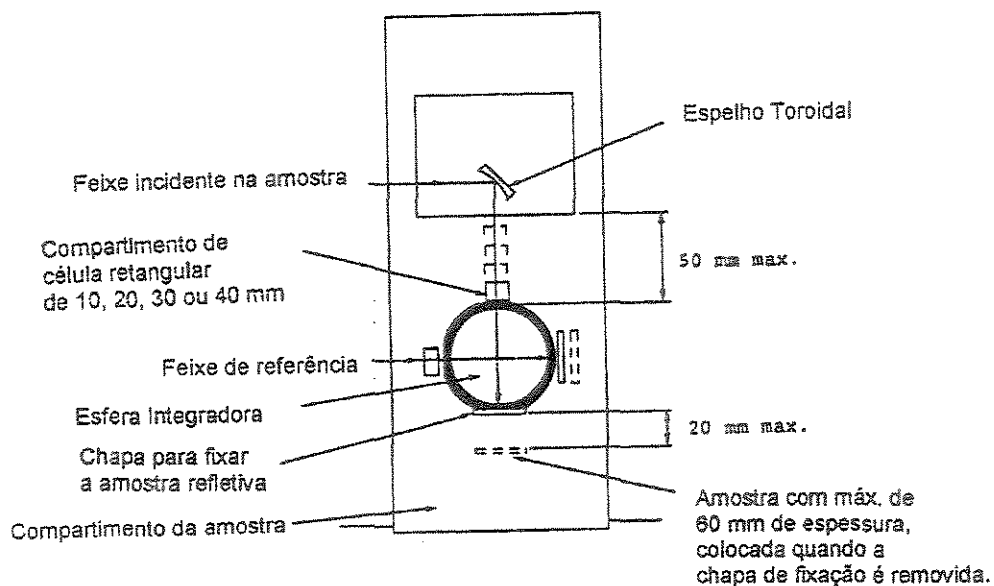


FIGURA 11 - Princípio de funcionamento da esfera.

FONTE: HITACHI, s/d

Um feixe de luz que entra na esfera reflete repetidamente na sua parede interna, e finalmente penetra pela abertura formada por um detetor.

Há três aberturas na esfera: entrada do feixe (que permite a incidência do feixe de luz), compartimento da amostra refletiva, e abertura para o detetor, que não reflete luz.

Na figura 12, a seguir, pode-se observar as pastilhas de sulfato de bário.

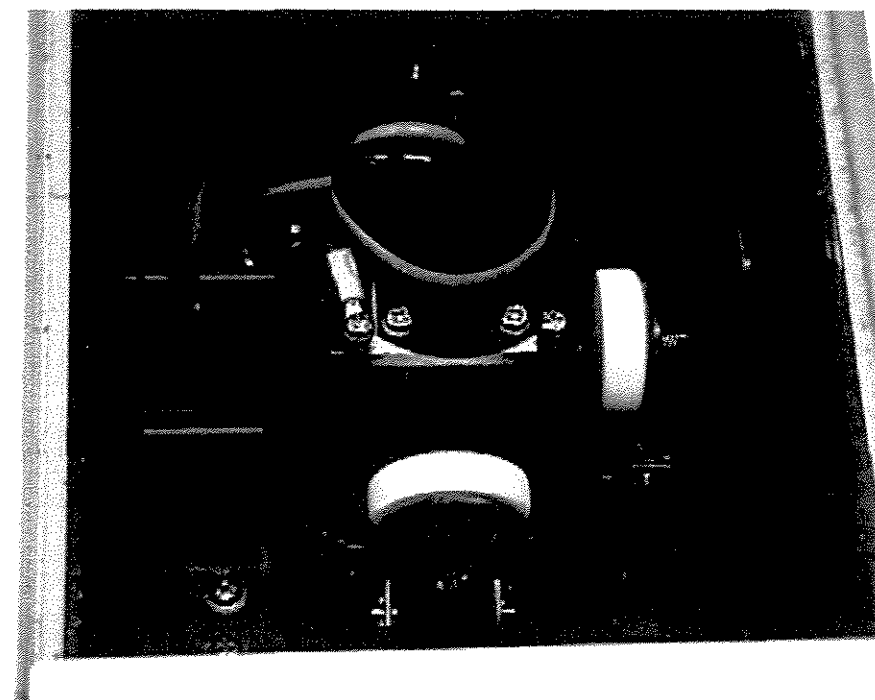


FIGURA 12 – Pastilhas de Sulfato de Bário

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais obtidos nas três fases do trabalho estão apresentados em gráficos e tabelas, possibilitando uma boa visualização do que ocorre em termos de refletância dentro dos intervalos estudados, para cada amostra.

A seguir dispõe-se os resultados obtidos nas três fases do trabalho, salientando que a terceira fase é a complementação das fases anteriores. Por essa razão, os resultados da terceira fase serão mais detalhados.

Como os materiais utilizados na primeira e segunda fases foram os mesmos, somente alterando o intervalo de medições, os resultados obtidos nessas duas fases serão apresentados em um único item.

### 5.1 Resultados das fases 1 e 2

A partir dos dados obtidos pelos ensaios espectrofotométricos, tornou-se possível o traçado das curvas e a integração das áreas correspondentes a cada região do espectro.

Salienta-se que nesta fase do trabalho as regiões do espectro não foram subdivididas em ultravioleta, visível e infravermelho, mas somente analisou-se a refletância no visível e a refletância total obtida.

Apresenta-se a seguir três gráficos de refletância espectral, ilustrados através das figuras 13 a 15, e os resultados nominais dispostos na tabela 6.

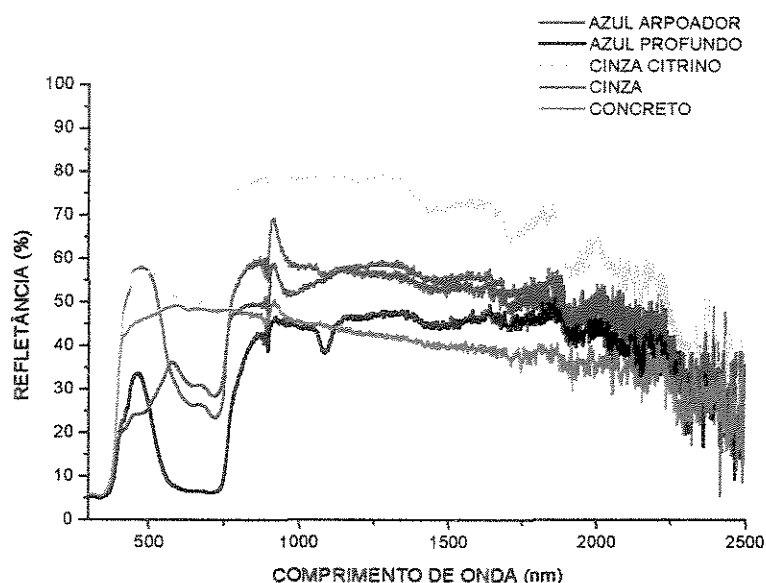


FIGURA 13 – Curvas de refletância espectral das cores Azul Arpoador, Azul Profundo, Cinza Citrino, Cinza e Concreto.

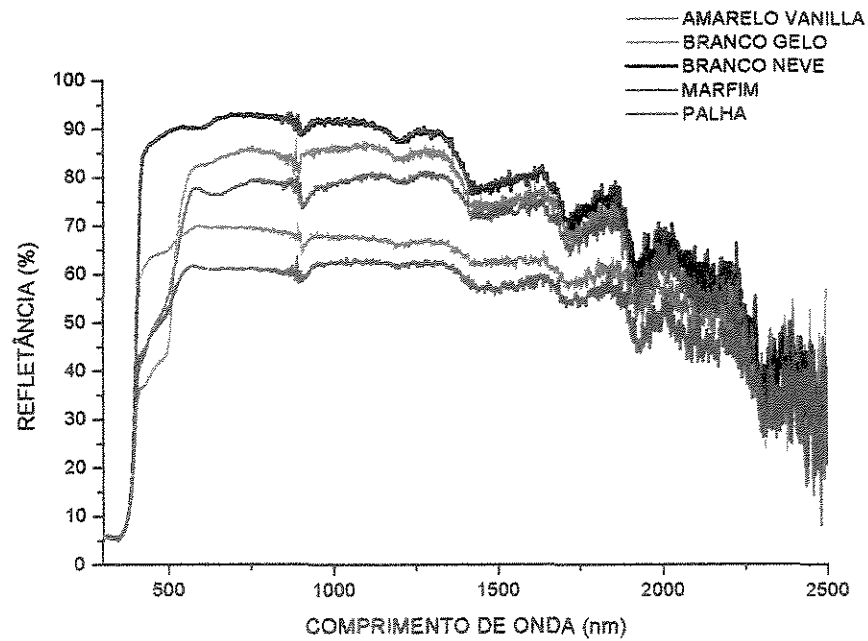


FIGURA 14 – Curvas de refletância espectral das cores Amarelo Vanilla, Branco Gelo, Branco Neve, Marfim e Palha.

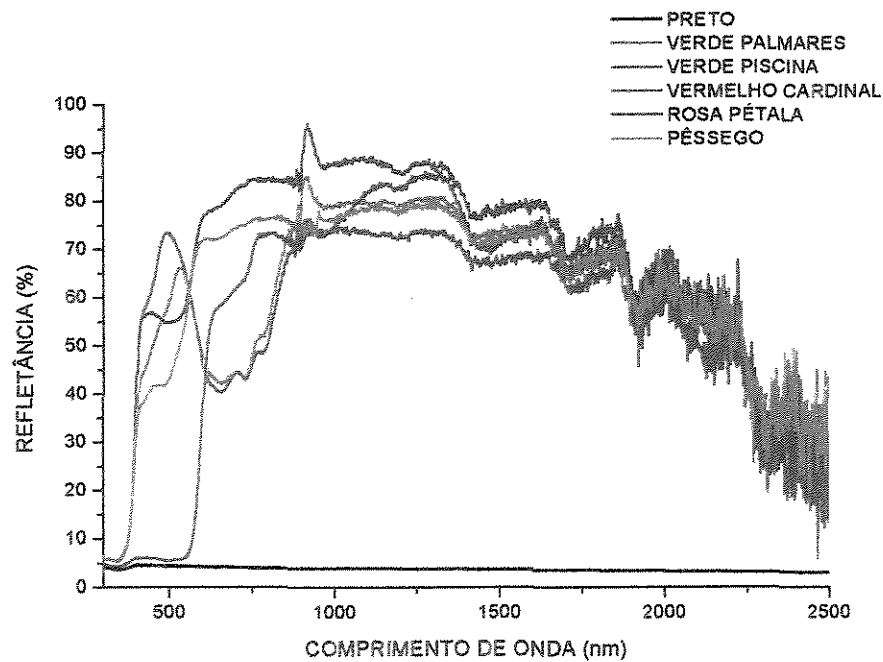


FIGURA 15 – Curvas de refletância espectral das cores Preto, Verde Palmares, Verde Piscina, Vermelho Cardinal, Rosa Pétala e Pêssego.

TABELA 6

Refletâncias obtidas para as diferentes cores analisadas

<b>CORES</b>	<b>REFLETÂNCIA NO VISÍVEL (%)</b>	<b>REFLETÂNCIA TOTAL (%)</b>
Branco Neve	74	73
Amarelo Vanilla	61	66
Rosa Pétala	57	67
Marfim	56	64
Branco Gelo	55	57
Palha	53	52
Pêssego	50	62
Cinza Citrino	45	61
Verde Piscina	45	57
Verde Palmares	42	60
Cinza	39	38
Azul Arpoador	34	46
Vermelho Cardinal	31	55
Concreto	29	44
Azul Profundo	14	35
Preto	4	4

Pode-se observar que a cor Branca obteve o maior valor nominal tanto para refletância no visível quanto para refletância total; e a cor Preta, os menores valores. Este era um resultado esperado.

Já as cores mais escuras, como Azul, Vermelho e Concreto, apresentaram grandes diferenças entre a refletância no visível e a total. O Vermelho Cardinal foi a cor que ilustrou a maior diferença, com 31% no visível e 55% no total.

## 5.2 Resultados da fase 3

As amostras foram ensaiadas no intervalo de 300 a 2500 nm, e, neste intervalo, foi feita uma outra subdivisão, caracterizando as regiões do ultravioleta (300 a 380 nm), do visível (380 a 780 nm) e do infravermelho (780 a 2500 nm).

Os dados obtidos pelos ensaios espectrofotométricos permitiram então, que se traçasse as curvas e se integrasse as áreas correspondentes a cada região do espectro, bem como a integração da área total das curvas obtidas.

Os gráficos de refletância espectral estão ilustrados através das figuras 16 a 52, e os resultados nominais estão dispostos nas tabelas 7 e 8.

Da figura 16 até a figura 30 são apresentados os gráficos obtidos para as amostras de tintas fornecidas, sendo da figura 16 a 27 os gráficos para as tintas látex acrílico, e da figura 28 a 30, para as tintas látex PVA. Em seguida, apresentam-se os resultados nominais na tabela 7.

Da figura 31 até a figura 52 são apresentados os gráficos obtidos para as amostras de tintas retiradas do catálogo, sendo da figura 31 até a 48 os gráficos para as tintas látex acrílico, e da figura 49 a 52, para as tintas látex PVA. Em seguida, os resultados nominais estão dispostos na tabela 8.

O relato dos resultados ocorre segundo a ordem acima apresentada.

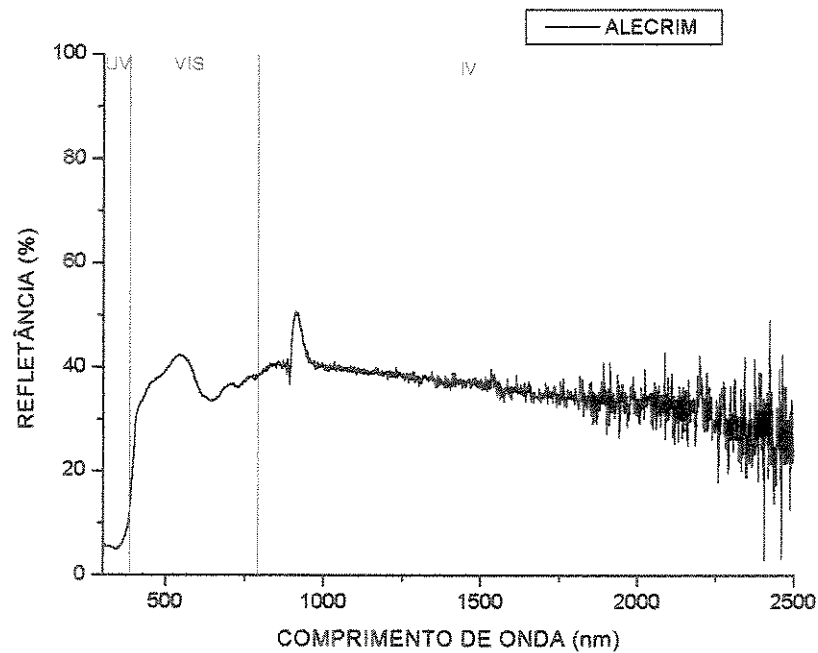


FIGURA 16 – Curva de refletância espectral da cor Alecrim (pastilha).

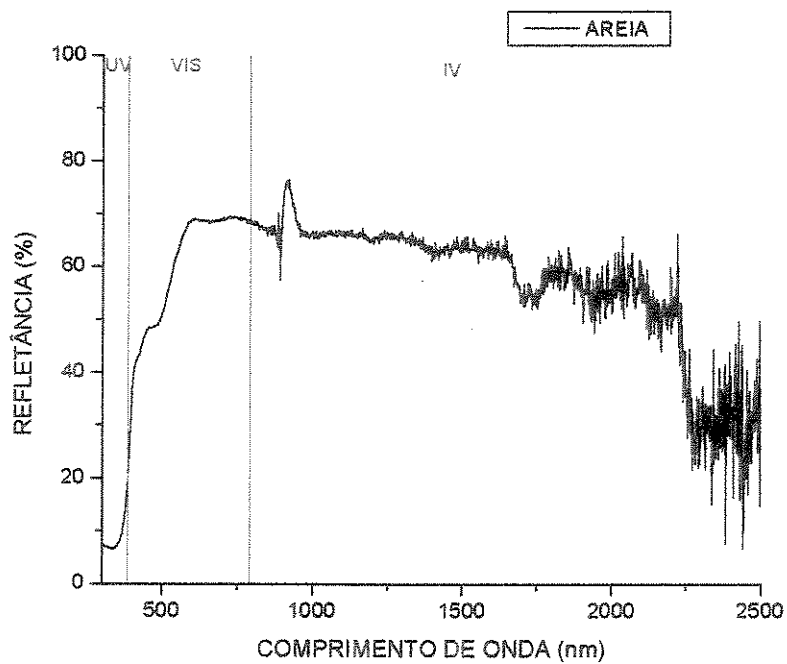


FIGURA 17 – Curva de refletância espectral da cor Areia (pastilha).



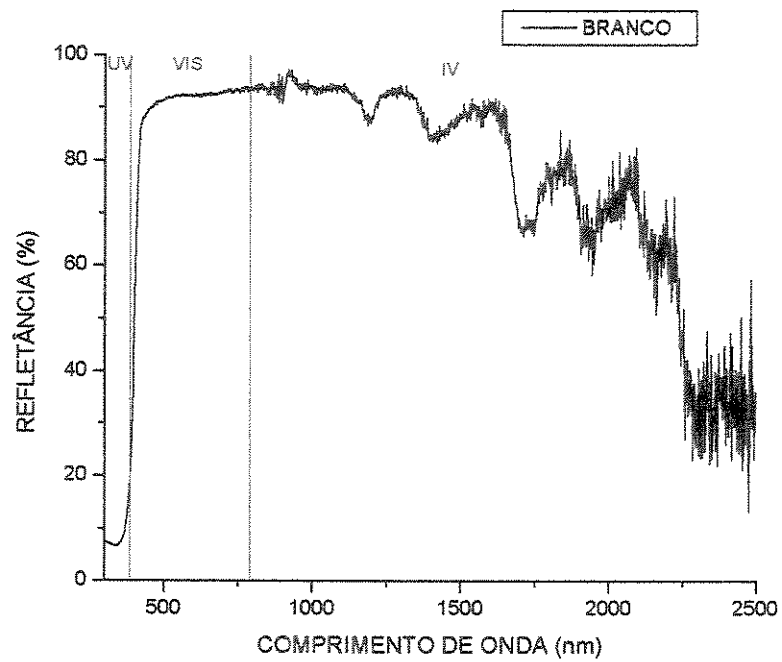


FIGURA 18 – Curva de refletância espectral da cor Branca (pastilha).

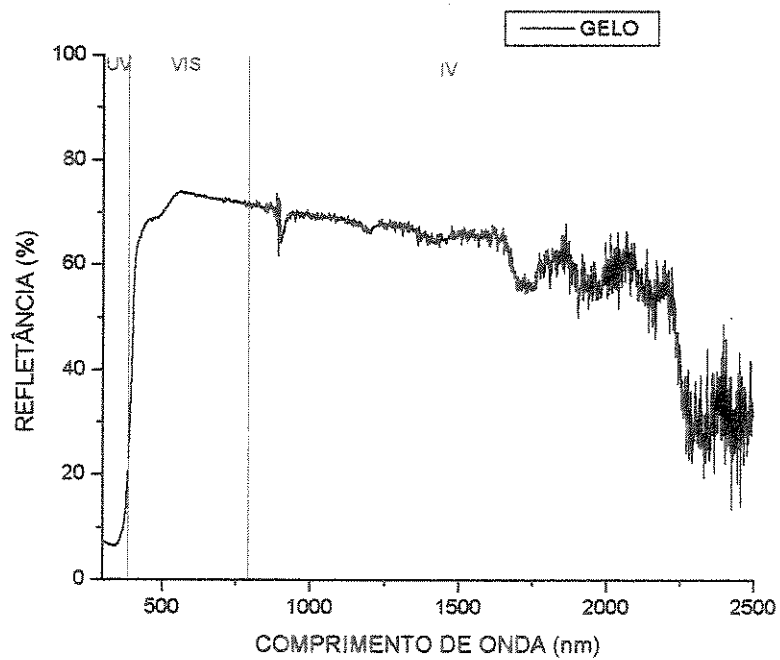


FIGURA 19 – Curva de refletância espectral da cor Gelo (pastilha).

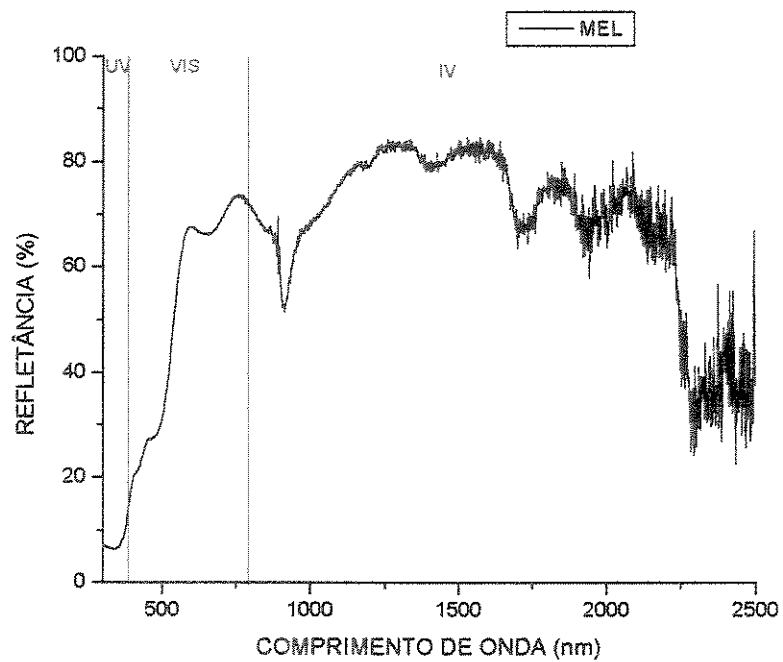


FIGURA 20 – Curva de refletância espectral da cor Mel (pastilha).

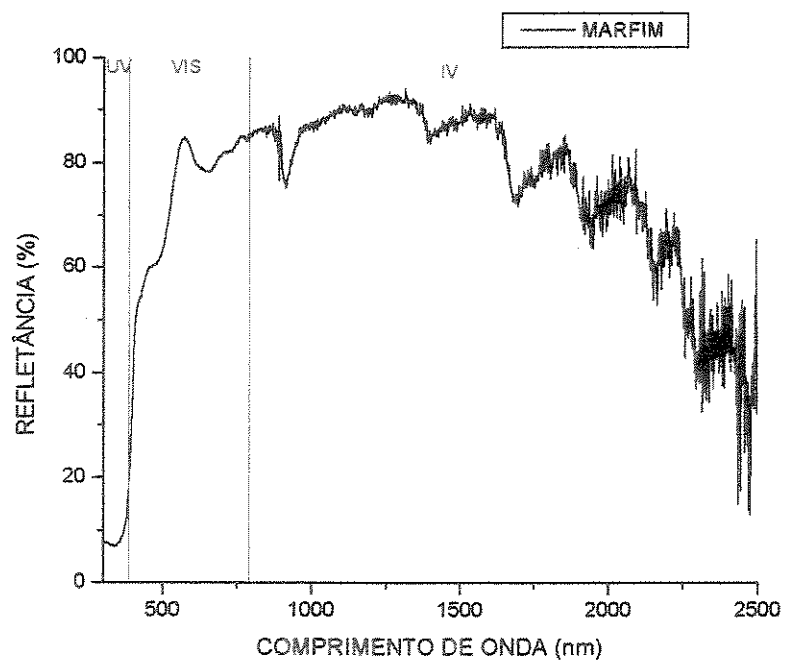


FIGURA 21 – Curva de refletância espectral da cor Marfim (pastilha).

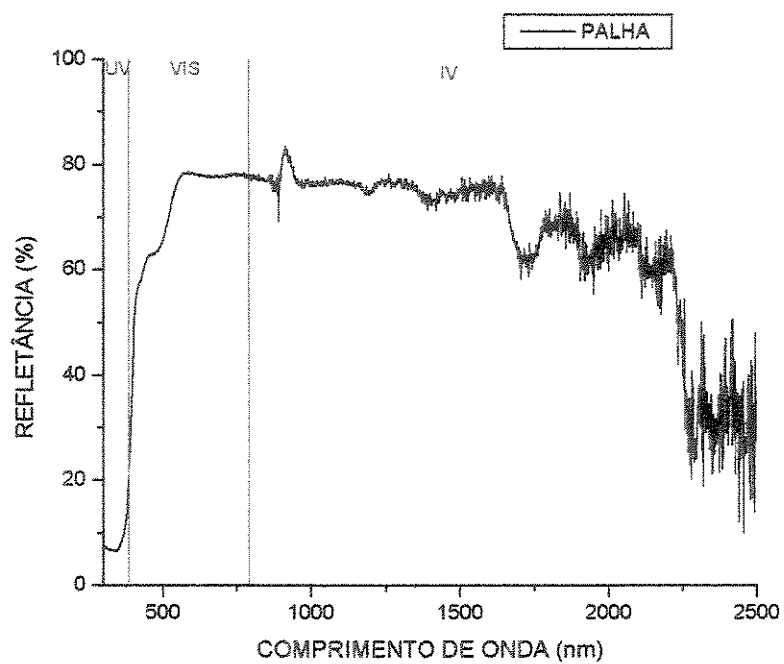


FIGURA 22 – Curva de refletância espectral da cor Palha (pastilha).

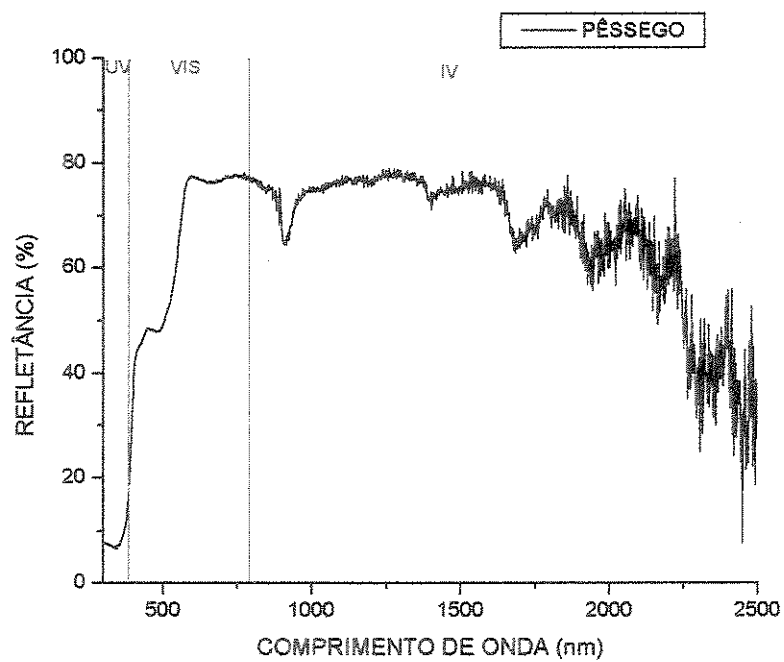


FIGURA 23 – Curva de refletância espectral da cor Pêssego (pastilha).

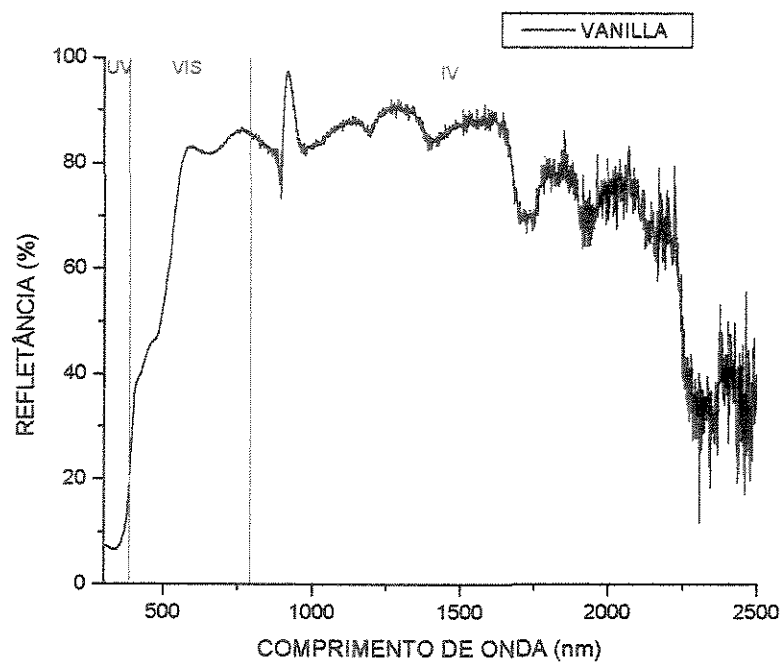


FIGURA 24 – Curva de refletância espectral da cor Vanilla (pastilha).

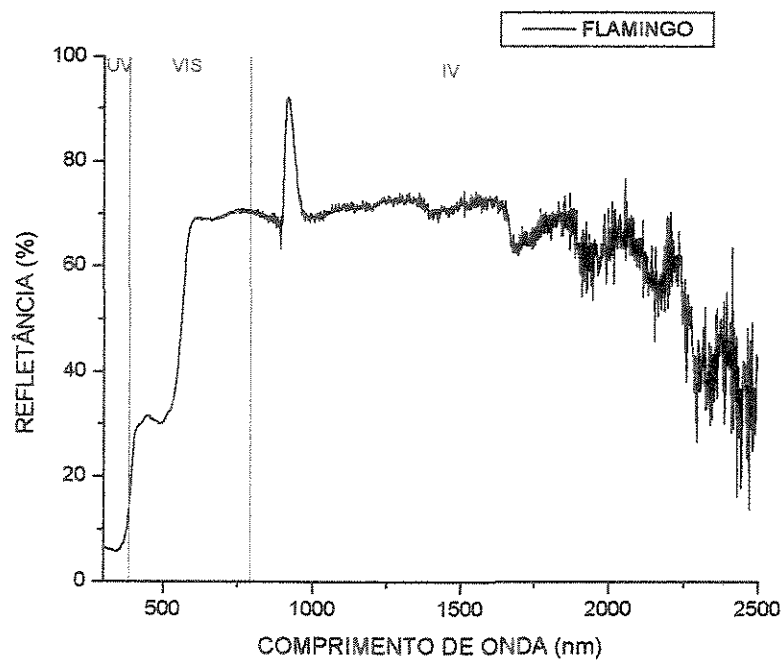


FIGURA 25 – Curva de refletância espectral da cor Flamingo (pastilha).

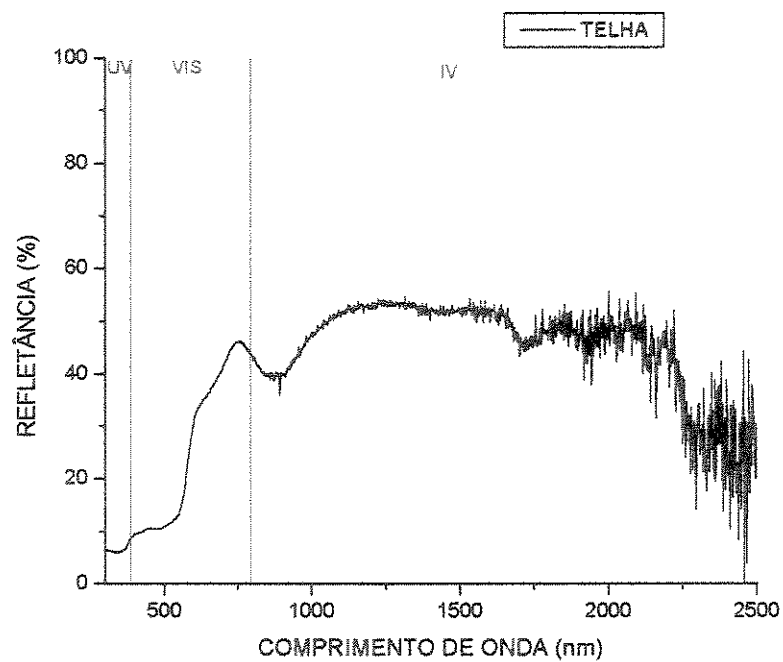


FIGURA 26 – Curva de refletância espectral da cor Telha (pastilha).

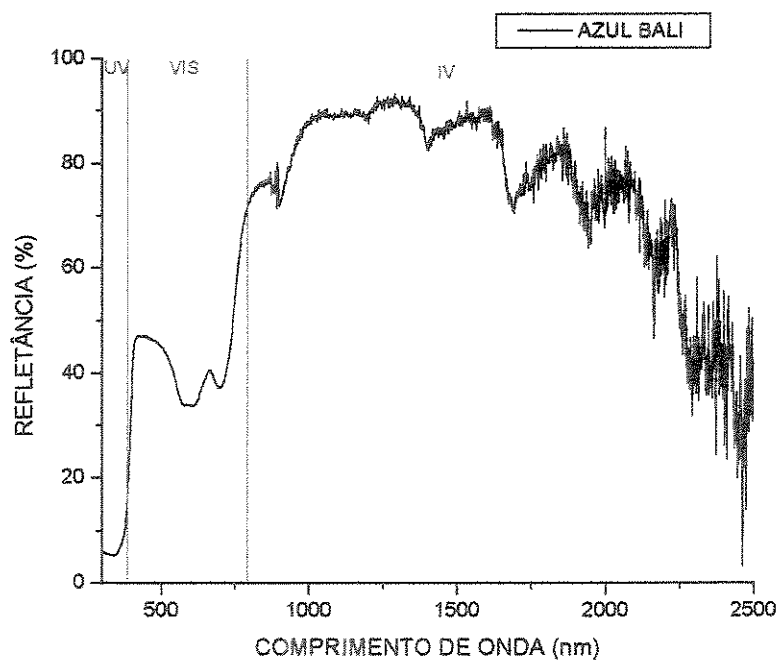


FIGURA 27 – Curva de refletância espectral da cor Azul Bali (pastilha).

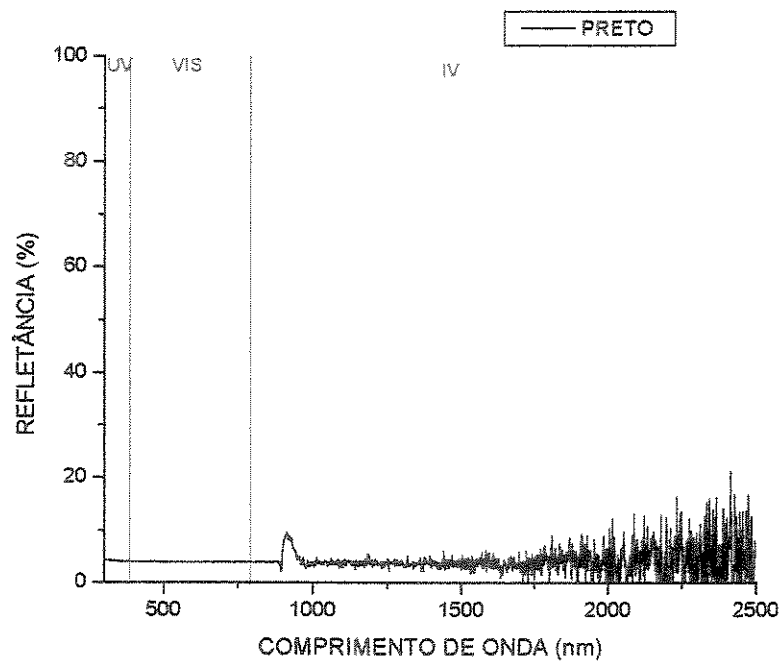


FIGURA 28 – Curva de refletância espectral da cor Preta (pastilha).

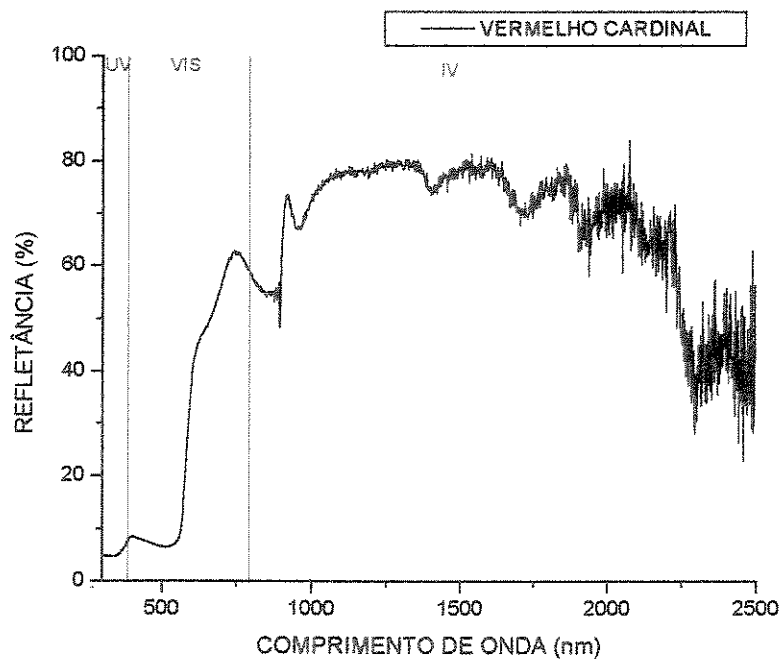


FIGURA 29 – Curva de refletância espectral da cor Vermelho Cardinal (pastilha).

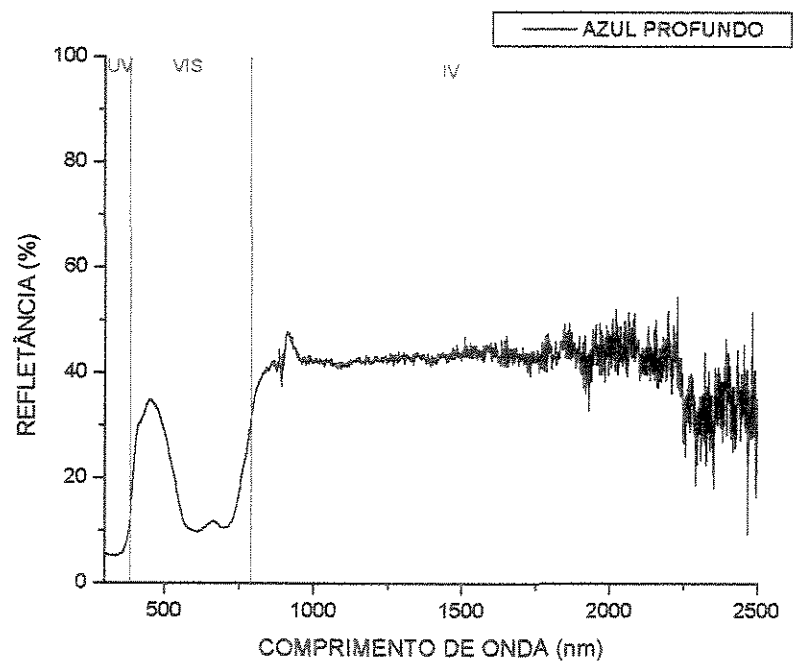


FIGURA 30 – Curva de refletância espectral da cor Azul Profundo (pastilha).

TABELA 7

Refletâncias obtidas para as pastilhas pintadas

LÁTEX	COR	REFLETÂNCIA (%)			
		Ultravioleta	Visível	Infravermelho	Total
Acrílico	Alecrim	6	36	35	34
	Areia	8	59	57	55
	Branco	8	88	76	75
	Gelo	8	69	59	59
	Mel	7	51	68	63
	Marfim	8	71	76	73
	Palha	8	70	66	64
	Pêssego	8	63	67	64
	Vanilla	8	68	74	71
	Flamingo	7	51	65	60
	Telha	6	25	45	40
	Azul Bali	6	41	75	66
PVA	Preto	4	4	4	4
	Vermelho Cardinal	5	30	68	59
	Azul Profundo	6	19	41	36



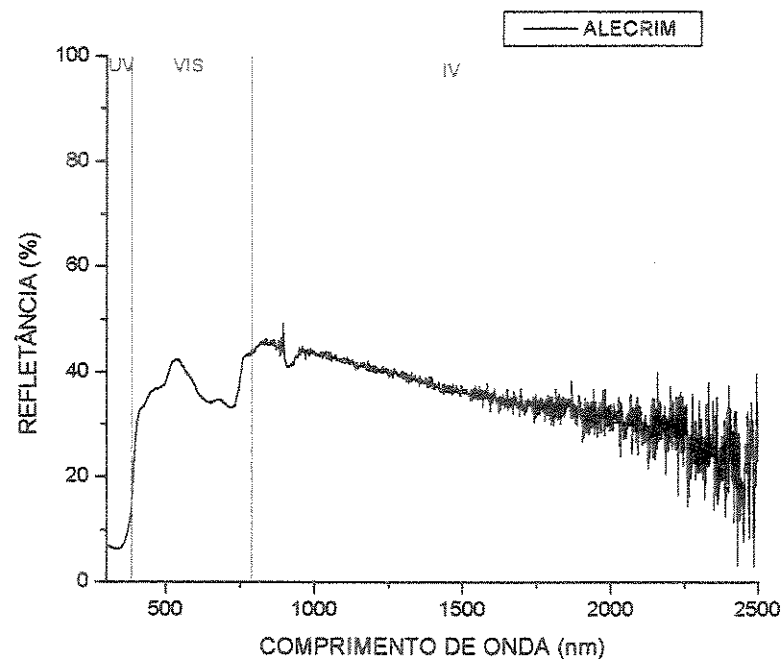


FIGURA 31 – Curva de refletância espectral da cor Alecrim (catálogo).

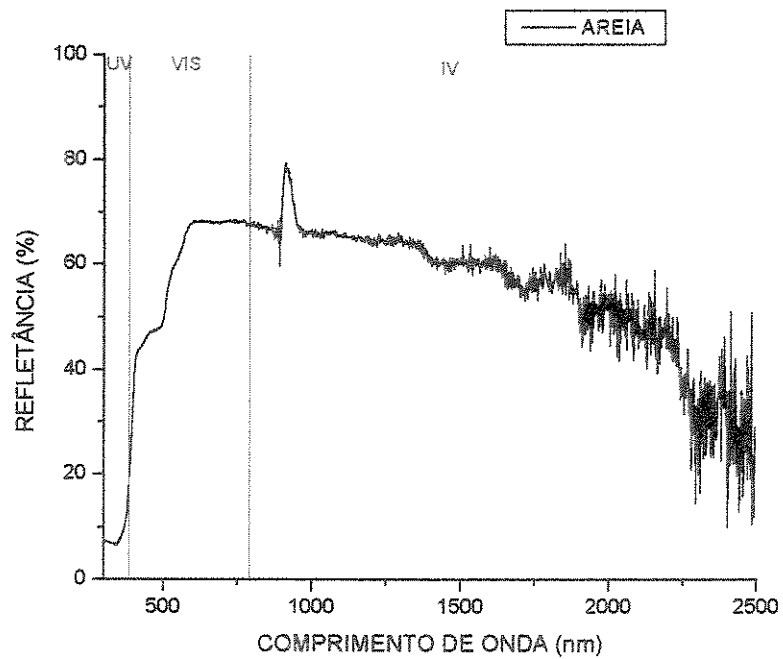


FIGURA 32 – Curva de refletância espectral da cor Areia (catálogo).

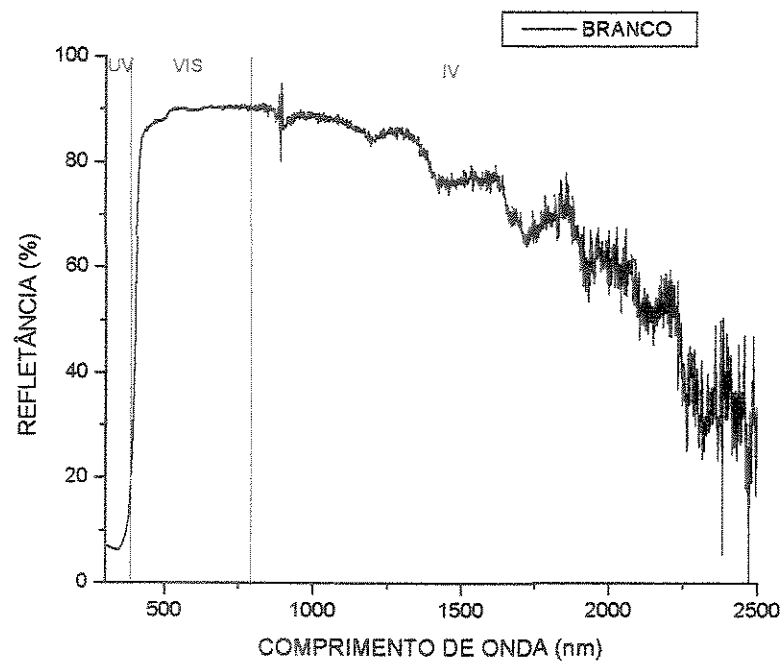


FIGURA 33 – Curva de refletância espectral da cor Branca

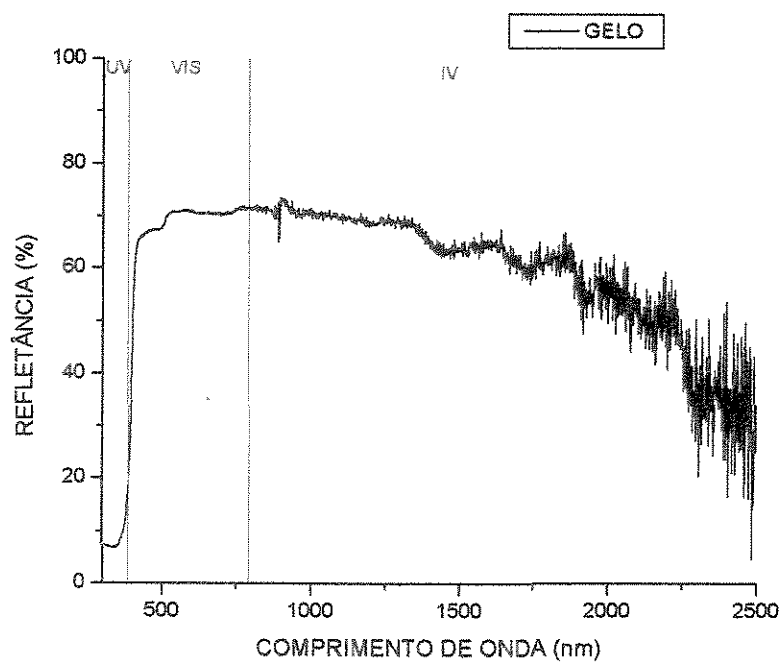


FIGURA 34 – Curva de refletância espectral da cor Gelo (catálogo).

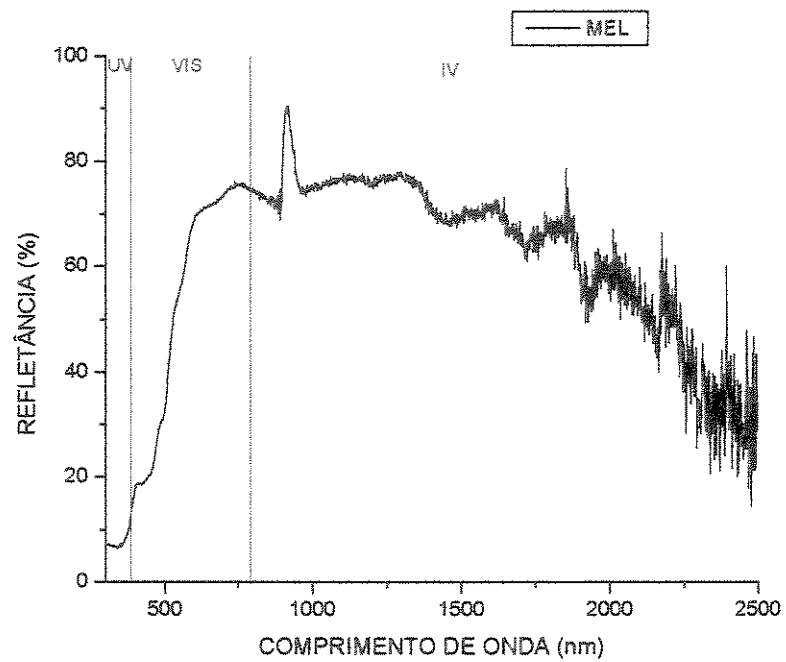


FIGURA 35 – Curva de refletância espectral da cor Mel (catálogo).

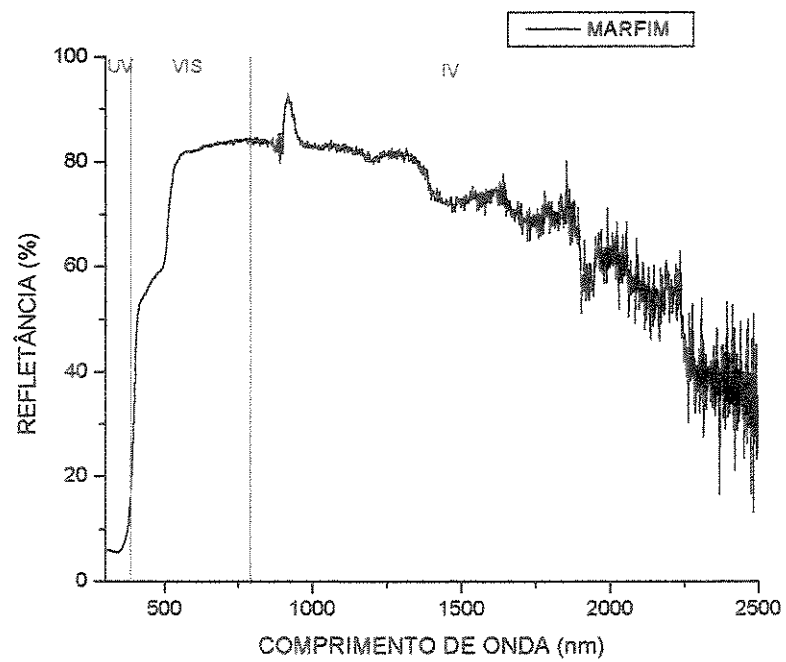


FIGURA 36 – Curva de refletância espectral da cor Marfim (catálogo).

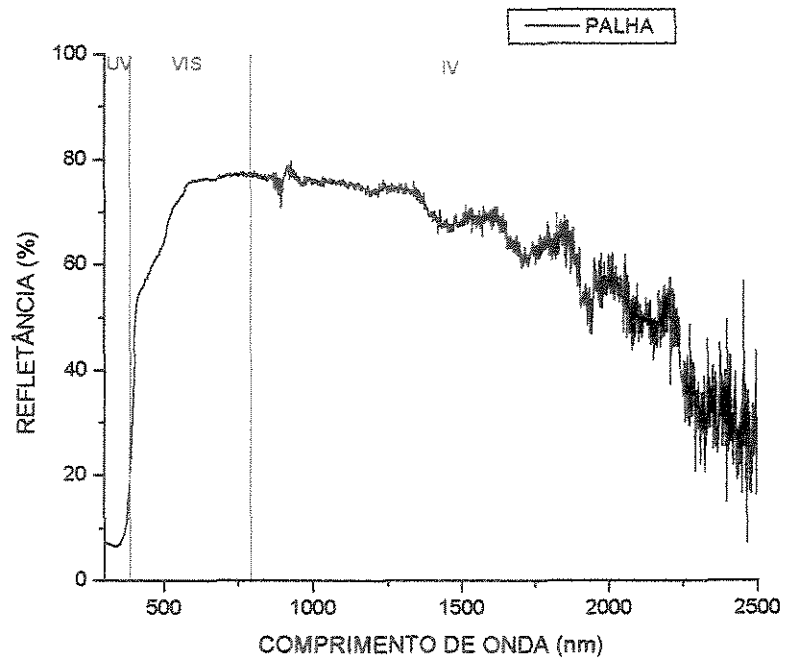


FIGURA 37 – Curva de refletância espectral da cor Palha (catálogo).

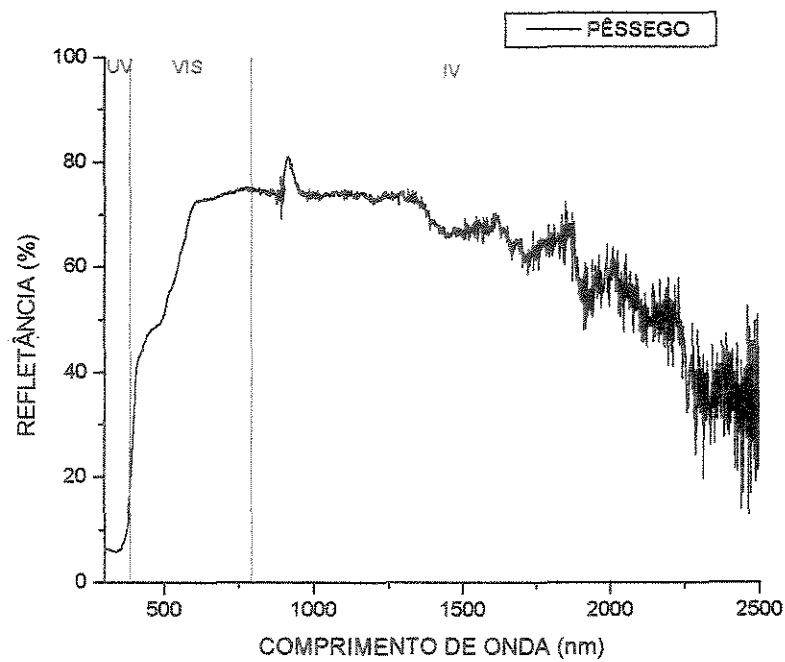


FIGURA 38 – Curva de refletância espectral da cor Pêssego (catálogo).

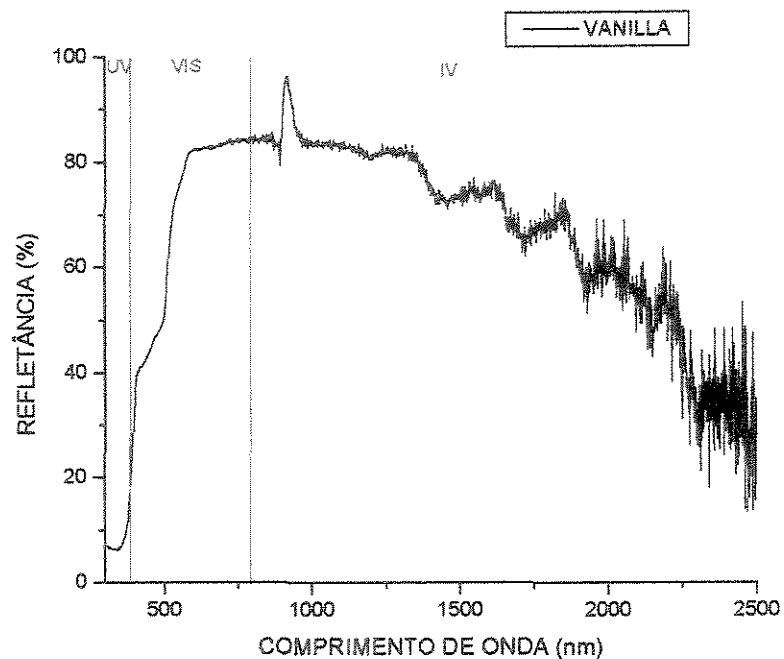


FIGURA 39 – Curva de refletância espectral da cor Vanilla (catálogo).

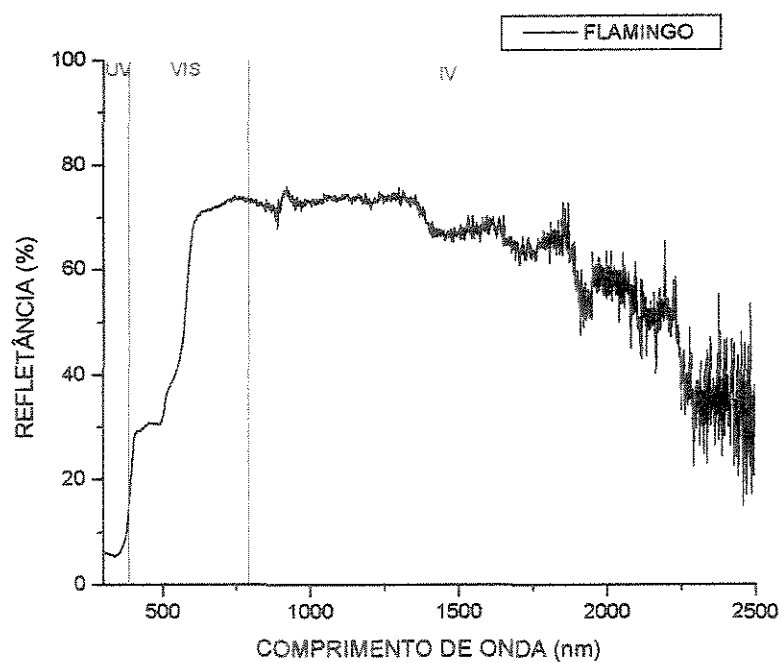


FIGURA 40–Curva de refletância espectral da cor Flamingo (catálogo).

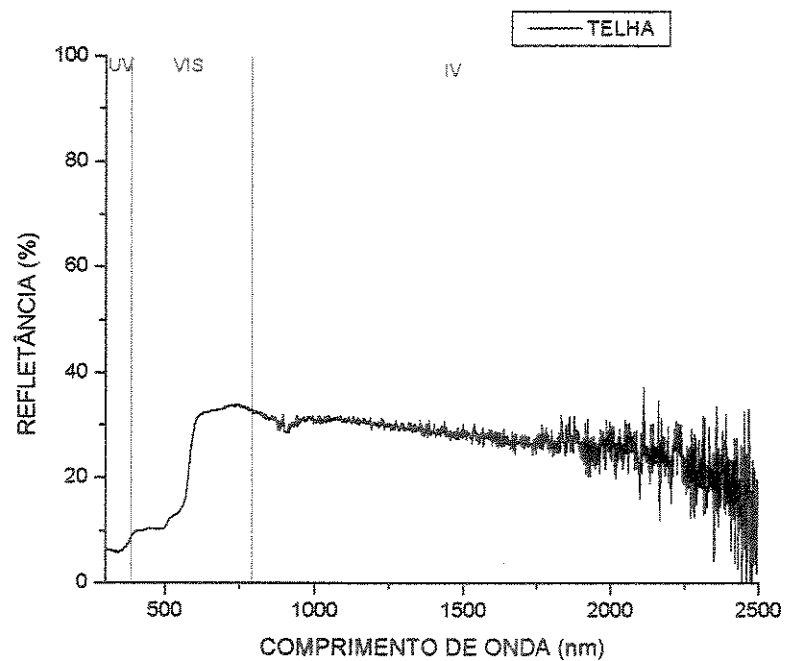


FIGURA 41 – Curva de refletância espectral da cor Telha (catálogo).

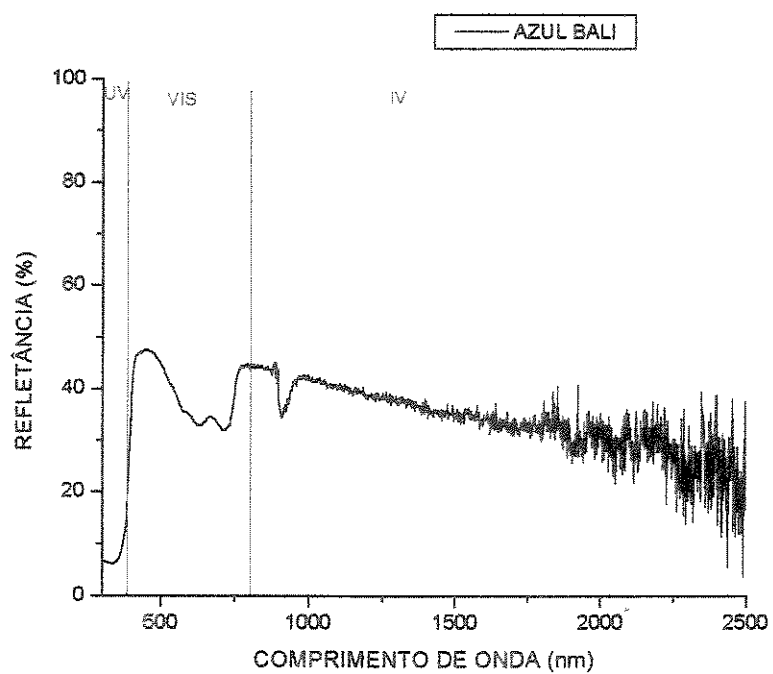


FIGURA 42 – Curva de refletância espectral da cor Azul Bali (catálogo).

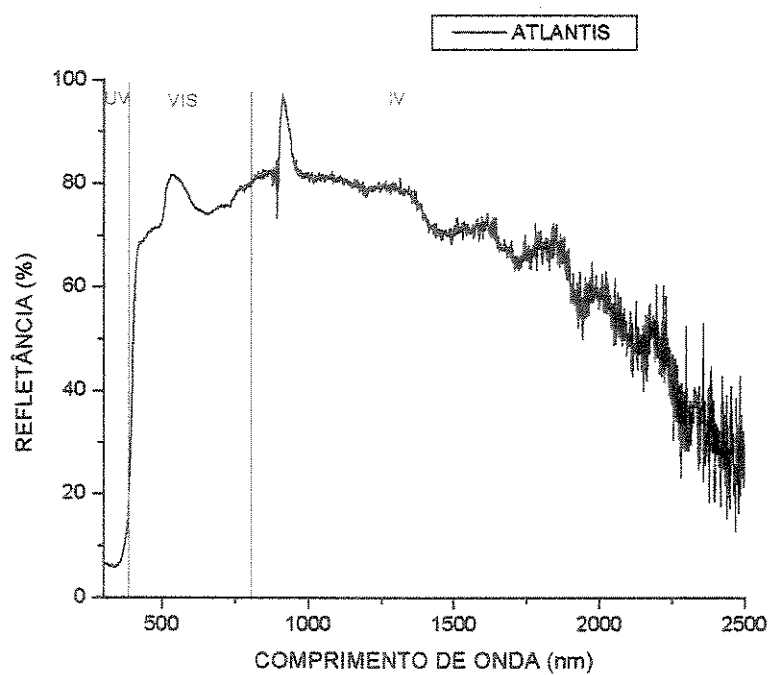


FIGURA 43 – Curva de refletância espectral da cor Atlantis (catálogo).

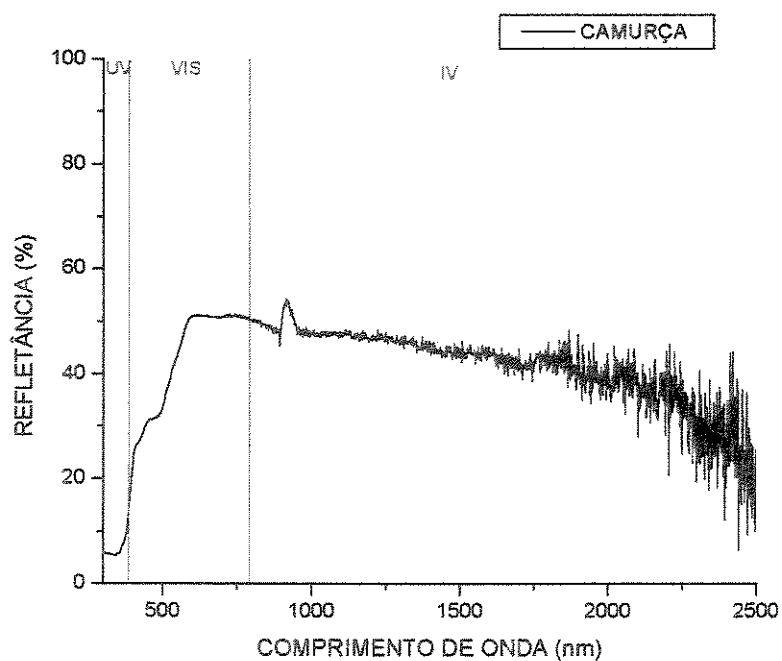


FIGURA 44 – Curva de refletância espectral da cor Camurça (catálogo).

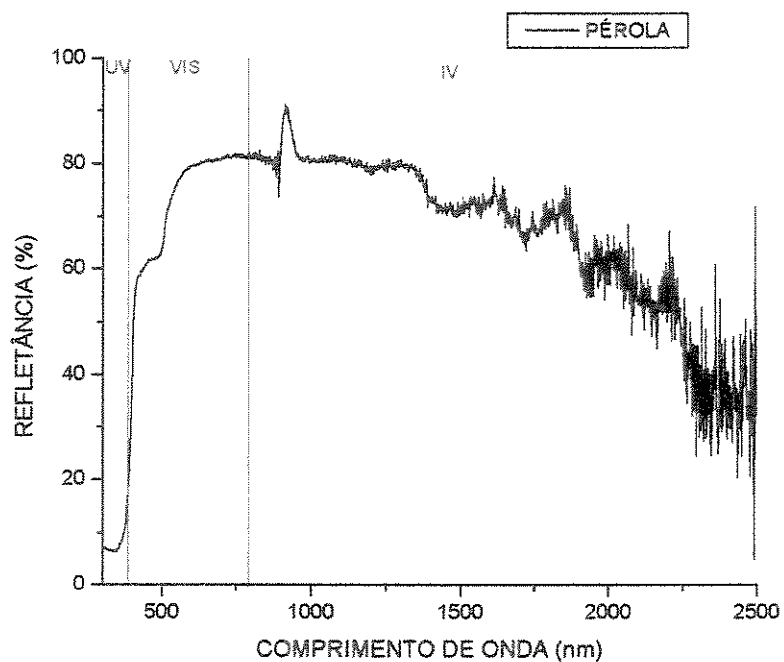


FIGURA 45 – Curva de refletância espectral da cor Pérola (catálogo).

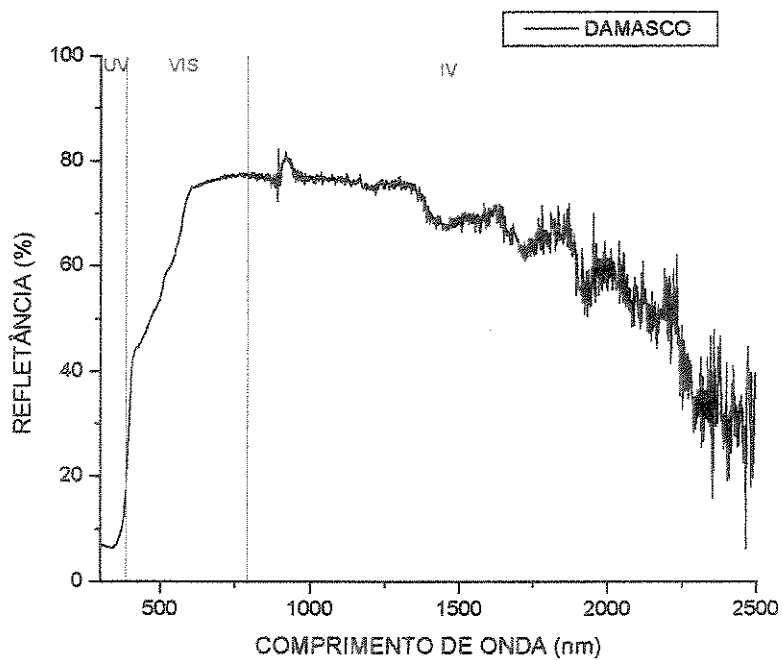


FIGURA 46 – Curva de refletância espectral da cor Damasco (catálogo).



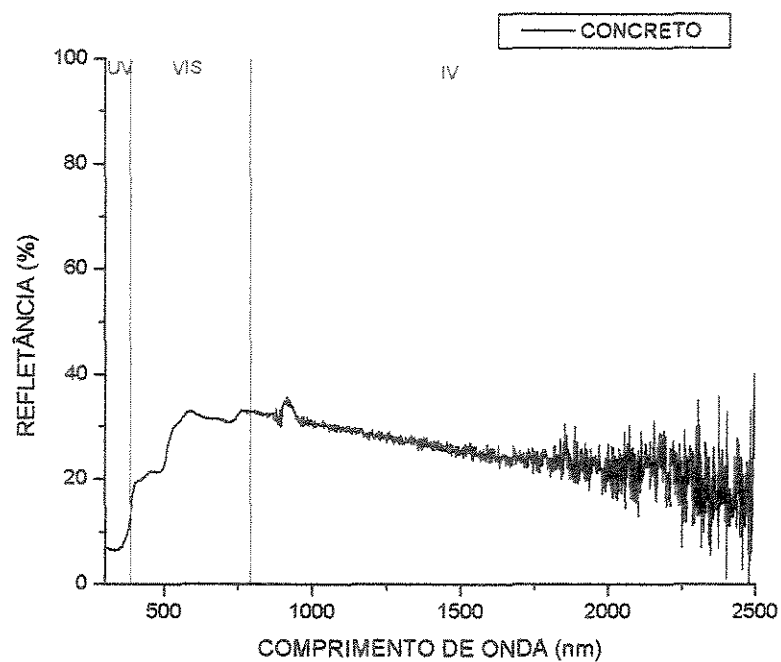


FIGURA 47 – Curva de refletância espectral da cor Concreto (catálogo).

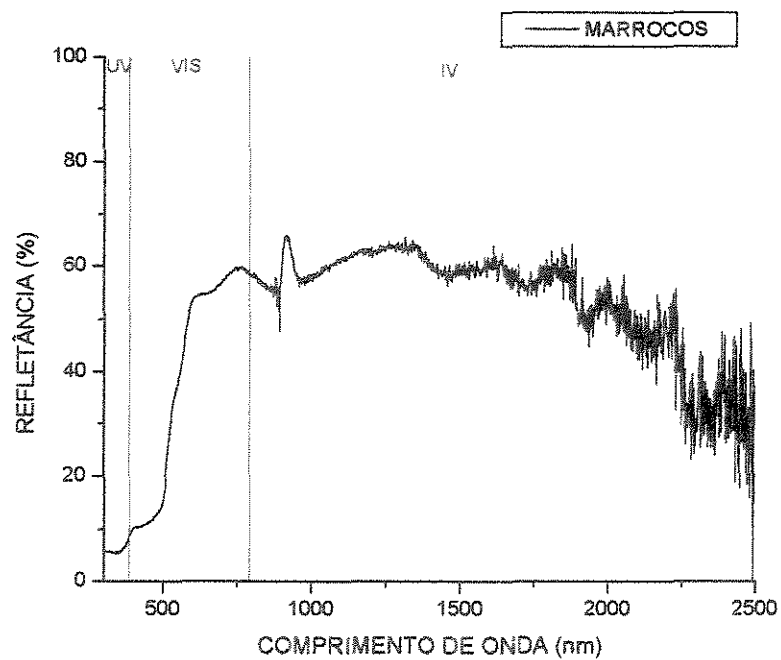


FIGURA 48 – Curva de refletância espectral da cor Marrocos (catálogo).

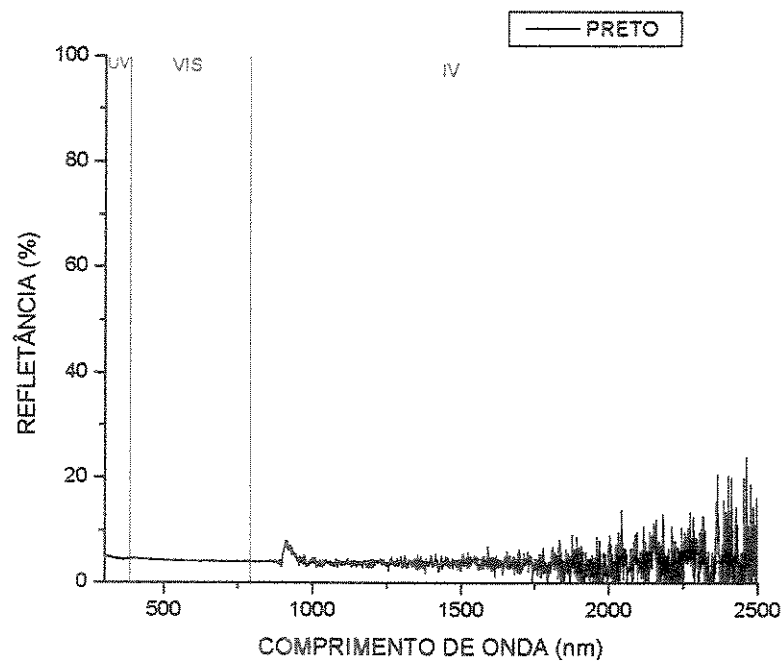


FIGURA 49 – Curva de refletância espectral da cor Preta (catálogo).

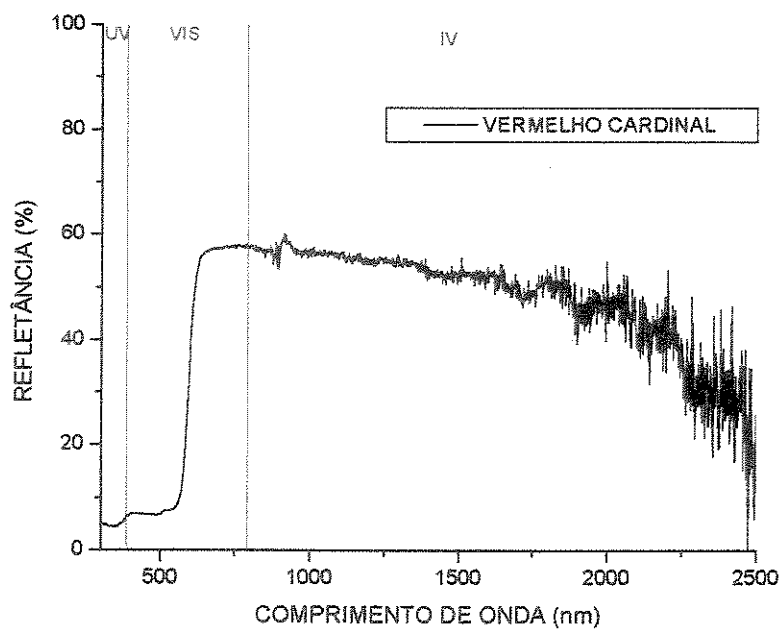


FIGURA 50 – Curva de refletância espectral cor Vermelho cardinal(catálogo).

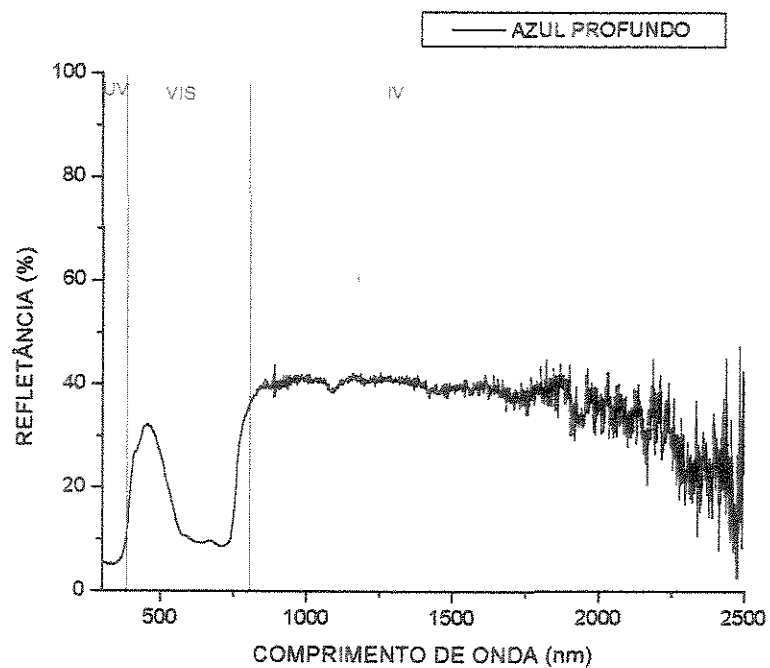


FIGURA 51 – Curva de refletância espectral da cor Azul Profundo (catálogo).

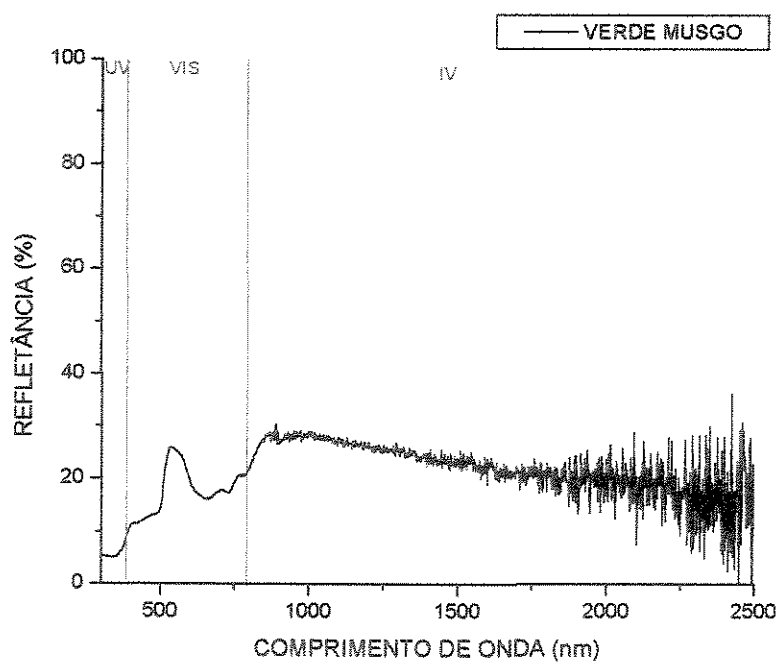


FIGURA 52 – Curva de refletância espectral da cor Verde Musgo (catálogo).

TABELA 8

Refletâncias obtidas para as cores retiradas do catálogo

LÁTEX	COR	REFLETÂNCIA (%)			
		Ultravioleta	Visível	Infravermelho	Total
Acrílico	Alecrim	7	36	35	34
	Areia	8	58	55	54
	Branco	7	85	69	69
	Gelo	8	67	59	59
	Mel	7	53	63	59
	Marfim	6	72	68	66
	Palha	8	68	61	61
	Pêssego	7	61	62	60
	Vanilla	7	68	67	65
	Flamingo	6	52	62	58
	Telha	6	22	27	25
	Azul Bali	7	38	34	34
	Atlantis	7	72	65	64
	Camurça	6	42	41	40
	Pérola	7	71	67	65
	Damasco	8	63	63	61
	Concreto	7	28	25	25
	Marrocos	6	38	54	49
PVA	Preto	5	4	4	4
	Vermelho Cardinal	5	30	48	43
	Azul Profundo	6	17	36	32
	Verde Musgo	5	17	22	21

A seguir serão relatados os resultados.

### **5.2.1 Amostras de tintas fornecidas (“pastilhas”)**

Observa-se nos gráficos apresentados nas figuras de 16 a 30, próximo da região de 800 nm, uma descontinuidade, a qual se deve à troca de detetor do equipamento. Além disso, nota-se que, conforme o comprimento de onda se aproxima de 2500 nm, aumenta muito o ruído do equipamento.

Salienta-se que a descontinuidade devido à troca de detetor e o ruído do equipamento não inviabilizam a leitura correta da refletância.

#### **5.2.1.1 Região do ultravioleta**

A refletância na região do ultravioleta é bastante baixa em todas as amostras, variando entre 4% para a cor Preta e 8% para algumas outras cores, como por exemplo o Marfim e o Areia.

#### **5.2.1.2 Região do visível**

Pode-se observar que nesta região a cor Branca obteve o maior valor de refletância (88%) e a cor Preta o menor valor (4%). Este era um resultado esperado.

#### **5.2.1.3 Região do infravermelho**

A refletância no infravermelho variou de 4% para a cor Preta, até 76% para o Branco e Marfim.

A cor Vermelho Cardinal apresentou, no infravermelho, um valor alto de refletância (68%). Este valor é bem maior que na região do visível (30%). Além desta cor, o Azul Bali também mostrou o mesmo comportamento, apresentando, no infravermelho, um valor alto de

refletância (75%), e um valor bem menor na região do visível (41%). Estas duas cores foram as que ilustraram maiores diferenças entre infravermelho e visível.

#### **5.2.1.4 Refletância total**

O maior valor nominal para a refletância foi para a cor Branca (75%) e o menor para a cor Preta (4%). A cor preta obteve um valor baixo de refletância nas três regiões do espectro. Todas as outras cores, inclusive o Branco, apresentaram grandes diferenças principalmente entre o ultravioleta e as outras regiões.

### **5.2.2 Amostras do catálogo**

Como no item anterior, também com as amostras do catálogo pode-se observar a descontinuidade, nas figuras de 31 a 52, devido à troca do detetor na região de 800 nm. E o ruído também foi constatado em todos os gráficos.

#### **5.2.2.1 Região do ultravioleta**

A refletância nesta região é bastante baixa, como no caso das pastilhas, e oscilou entre 5% para as cores Preto, Vermelho Cardinal e Verde Musgo, e 8% para várias outras cores como por exemplo o Areia e o Palha.

#### **5.2.2.2 Região do visível**

Na região do visível foi constatado que o menor valor de refletância foi para a cor Preta (4%), e o maior para a cor Branca (85%). Como no caso das pastilhas, este também era um resultado esperado.

### 5.2.2.3 Região do infravermelho

Nesta região, a refletância oscilou entre 4% para a cor Preta e 69% para a cor Branca, seguida da cor Marfim com 68% de refletância.

Pode-se observar que não houve muitas diferenças entre esta região e a região do visível. A maioria das cores apresentou praticamente os mesmos valores na região do visível e do infravermelho, com exceção da cor Azul Profundo, que exibiu a maior diferença, sendo 17% no visível e 36% no infravermelho. Logo em seguida, as cores Vermelho Cardinal, Marrocos e Branco, com valores respectivamente de 30%, 38% e 85% para a região do visível, e 48%, 54% e 69% para o infravermelho.

É interessante notar que somente a cor Branca exibiu um valor maior no visível (85%) que no infravermelho (69%). Nas outras cores citadas acima, o maior valor foi sempre no infravermelho.

### 5.2.2.4 Refletância total

A maior refletância obtida foi para a cor Branca (69%) e a menor para a cor Preta (4%). Como no caso das pastilhas, somente a cor Preta do catálogo obteve valor nominal baixo em toda região do espectro. As outras cores exibiram grandes diferenças entre a região do ultravioleta e as demais regiões.

De um modo geral, os resultados obtidos corresponderam ao esperado: maiores valores de refletância para cores claras, e menores para cores escuras.

A partir da análise dos dados obtidos, apresenta-se a discussão no próximo capítulo.

## 6. DISCUSSÃO

Neste capítulo serão discutidos os resultados das três fases do trabalho, sendo que estes serão subdivididos em dois grupos. O primeiro abrange a discussão dos resultados das fases 1 e 2, em conjunto; e o segundo apresenta uma discussão bem detalhada da fase 3.

### 6.1 Discussão dos resultados das fases 1 e 2

Esperava-se que a cor branca fornecesse a maior refletância e a cor preta, a menor. Os resultados o comprovam, pois foram obtidos 74% de refletância para o Branco Neve, índice considerado baixo se comparado com aqueles publicados em literatura (85%), e 4% para o Preto. O Branco Neve chega a atingir 90% de refletância na região entre 800 e 1000 nm, mas quando se integra no visível, obtém-se um valor mais baixo.

Há uma tendência no mercado em se considerar cores claras como sendo Gelo, Marfim e Palha. Mas, pela tabela, pode-se observar que a cor Amarela deve ser considerada como uma opção de cor clara, pois o Amarelo Vanilla é mais refletor que o Gelo, Marfim e Palha. Observa-se também que o Marfim e o Gelo têm uma refletância relativamente baixa (em torno de 55%).

Pode-se comprovar que as cores Cinza e Concreto, muito utilizadas em exteriores, não são realmente adequadas para climas quentes, pois refletem pouco (38 e 44%, respectivamente), isto é, absorvem bastante, podendo transferir o calor para o interior.



A cor que mais apresentou diferença entre a refletância no visível e a total foi a Vermelho Cardinal, com 31% no visível e 55% no total.

## 6.2 Discussão dos resultados da fase 3

Em primeiro lugar discute-se as refletâncias obtidas com as amostras de tintas fornecidas (pastilhas), depois aquelas obtidas com as amostras do catálogo, para então fazer uma comparação entre pastilhas e catálogo.

Cabe ressaltar aqui que a análise feita por regiões do espectro normalmente não é feita na literatura conhecida, onde há apenas a preocupação com a região do visível. Geralmente o que se encontra na literatura é o quanto uma cor reflete ou absorve, mas somente na região do visível. Este trabalho pretende complementar estas informações, fornecendo uma nova contribuição para a literatura.

É fato conhecido que, com relação ao infravermelho de onda longa, a refletância não depende da cor, mas os resultados evidenciam que as refletâncias obtidas para o infravermelho de onda curta estão relacionadas fortemente com a cor. No decorrer da discussão serão citados alguns exemplos que comprovam esta afirmação.

É importante observar que a informação que interessa quanto ao ganho de calor devido à absorção da radiação solar é a refletância total da amostra, a partir da qual se obtém a absortância, e, conseqüentemente, o ganho solar.

As superfícies expostas diretamente à radiação solar provocam sempre um ganho de calor no ambiente interno. Esse ganho de calor depende de alguns fatores, conforme definido anteriormente pela equação 7:

$$q = \alpha \cdot \frac{U}{h_e} \cdot I \quad (\text{equação 7})$$

onde:

q: ganho de calor solar ( $\text{W/m}^2$ )

$\alpha$ : coeficiente de absorção (absortância) da radiação solar

U: coeficiente global de transmissão térmica ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$h_e$ : coeficiente de condutância térmica superficial externa ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

I: intensidade da radiação solar global incidente ( $\text{W/m}^2$ )

Observa-se que esse ganho é diretamente proporcional à absortância  $\alpha$ .

### 6.2.1 Pastilhas

A refletância das pastilhas na região do ultravioleta é bastante baixa em todas as amostras, compreendendo um intervalo de 4% para a cor Preta a 8% para as cores Areia, Branco, Gelo, Marfim, Palha, Pêssego e Vanilla. Nota-se que no ultravioleta há uma uniformidade na refletância de todas as cores ensaiadas.

Na região do visível, os dados nominais comprovam o que era esperado, pois a cor Branca foi aquela com maior refletância (88%) e a cor Preta com a menor (4%). As outras cores, das mais claras para as mais escuras, também comprovam o que era esperado, pois sabe-se, da própria observação, que cores mais claras refletem mais a luz e cores mais escuras absorvem mais. A seguir, a tabela 9 apresenta os valores obtidos em ordem decrescente de refletância. O gráfico da figura 53 ilustra os resultados para as cinco cores de maior refletância.

TABELA 9

Refletâncias obtidas para as pastilhas na região do visível

COR	REFLETÂNCIA NO VISÍVEL(%)
Branco	88
Marfim	71
Palha	70
Gelo	69
Vanilla	68
Pêssego	63
Areia	59
Mel	51
Flamingo	51
Azul Bali	41
Alecrim	36
Vermelho Cardinal	30
Telha	25
Azul Profundo	19
Preto	4

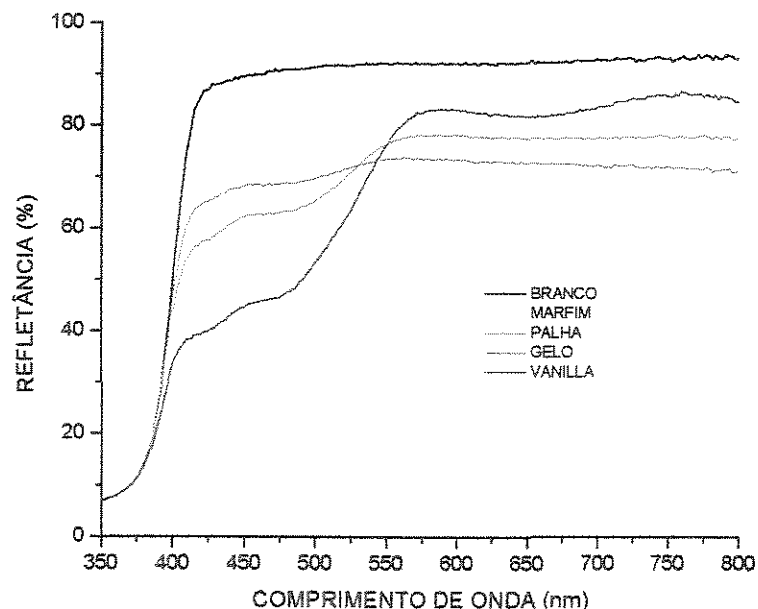


FIGURA 53 – Curvas de refletância espectral das cores Branco, Marfim, Palha, Gelo e Vanilla (pastilhas).

Pode-se observar através da tabela 9 e da figura 53, que qualquer uma das cinco cores de maior refletância (Branco, Marfim, Palha, Gelo e Vanilla) pode ser utilizada como opção de cor clara em fachadas. Geralmente, utiliza-se o Gelo como segunda opção depois do Branco, mas, pelos resultados obtidos, o Marfim, o Palha e o Vanilla também podem ser considerados como opção de cor clara em termos de reflexão no visível. Essa informação é importante também tendo em vista a pintura interna, onde deve haver a preocupação com o bom aproveitamento da iluminação natural (CARAM et al., 2001).

A região do visível é aquela para a qual o olho humano é sensível, e causa a sensação de visão e cores. As cores são criadas pela mistura dos vários comprimentos de onda nas proporções apropriadas. Consegue-se perceber que um objeto é azul ou vermelho, por exemplo, porque este objeto reflete o comprimento de onda referente àquela região espectral.

A figura 54 ilustra alguns exemplos de cores analisadas em função do comprimento de onda.

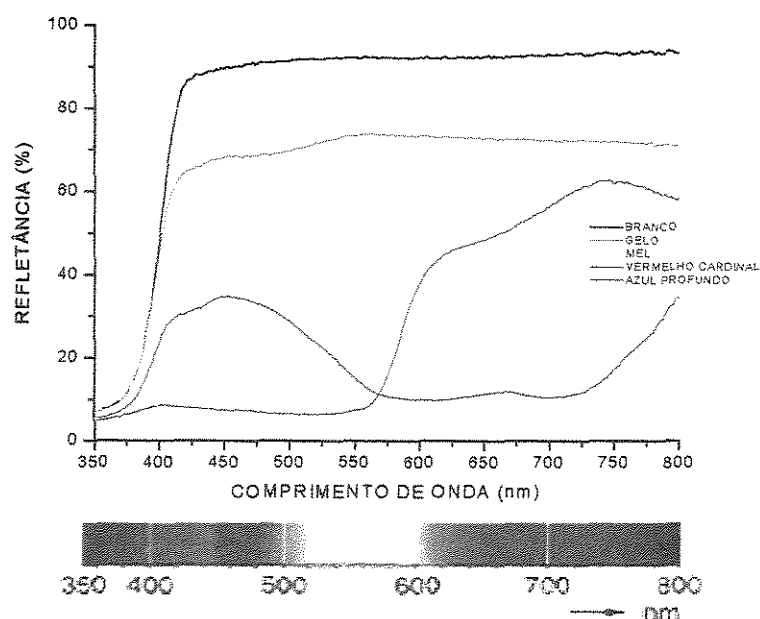


FIGURA 54 – Curvas de refletância espectral das cores Branco, Gelo, Mel, Vermelho Cardinal e Azul Profundo, em função do comprimento de onda.

Pode-se observar através da figura 54, que as cores Branco e Gelo refletem uniformemente todo o espectro da luz visível, a primeira em maior proporção que a segunda. A cor Vermelho Cardinal reflete comprimentos de onda acima de 600 nm, pois correspondem justamente ao vermelho. Já a cor Azul Profundo reflete comprimentos de onda em torno de 400 a 450 nm, pois este intervalo corresponde ao azul. E a cor Mel, de tonalidade amarelada, absorve tons de azul, mas reflete comprimentos de onda relacionados ao amarelo, e também aqueles acima de 600 nm (vermelhos).

Analisando-se a região do infravermelho, as cores que refletem mais no visível não são as mesmas que refletem mais no infravermelho. Para ilustrar essas diferenças, apresenta-se abaixo a tabela 10, em ordem decrescente de refletância para o visível e infravermelho.

TABELA 10

Refletâncias obtidas para as pastilhas na região do visível e infravermelho

COR	REFLETÂNCIA NO VISÍVEL(%)	COR	REFLETÂNCIA NO INFRAVERMELHO (%)
Branco	88	Branco	76
Marfim	71	Marfim	76
Palha	70	Azul Bali	75
Gelo	69	Vanilla	74
Vanilla	68	Mel	68
Pêssego	63	Vermelho Cardinal	68
Areia	59	Pêssego	67
Mel	51	Palha	66
Flamingo	51	Flamingo	65
Azul Bali	41	Gelo	59
Alecrim	36	Areia	57
Vermelho Cardinal	30	Telha	45
Telha	25	Azul Profundo	41
Azul Profundo	19	Alecrim	35
Preto	4	Preto	4

Os valores nominais da tabela 10 demonstram que não necessariamente as cores que refletem mais no visível, refletem mais no infravermelho. As cores Azul Bali e Vermelho Cardinal foram as que apresentaram maiores diferenças entre visível e infravermelho. Essas duas cores refletem pouca luz, mas bastante infravermelho, confirmando o relacionamento entre o infravermelho de onda curta com a cor. O Azul Bali reflete 41% no visível e 75% no infravermelho, e o Vermelho Cardinal reflete 30% no visível e 68% no infravermelho.

A cor Gelo apresenta boa refletância no visível e um valor mais baixo para infravermelho. O Vermelho Cardinal apresenta o contrário, baixa refletância para o visível e alta para o infravermelho. Esse resultado não é intuitivo.

A única cor que manteve o mesmo valor de refletância na região do visível e no infravermelho foi a cor Preta, com 4%.

Analisando-se a refletância total, percebe-se que as cores se comportam de modo diferente que na região do visível, isto é, a ordem decrescente encontrada nas refletâncias totais não é a mesma que aquela do visível. Portanto, não se pode inferir que se uma determinada cor reflete bastante no visível, também apresentará um valor alto na refletância total.

A tabela 11 demonstra as diferenças entre as refletâncias no visível e as refletâncias totais obtidas.

TABELA 11  
Refletâncias no visível e total (pastilhas)

COR	REFLETÂNCIA NO VISÍVEL(%)	COR	REFLETÂNCIA TOTAL (%)
Branco	88	Branco	75
Marfim	71	Marfim	73
Palha	70	Vanilla	71
Gelo	69	Azul Bali	66
Vanilla	68	Palha	64
Pêssego	63	Pêssego	64
Areia	59	Mel	63
Mel	51	Flamingo	60
Flamingo	51	Gelo	59
Azul Bali	41	Vermelho Cardinal	59
Alecrim	36	Areia	55
Vermelho Cardinal	30	Telha	40
Telha	25	Azul Profundo	36
Azul Profundo	19	Alecrim	34
Preto	4	Preto	4

Pela tabela 11, com relação a ganho de calor, as cores de menor contribuição são Branco, Marfim e Vanilla, pois têm refletância acima de 70%. As cores Azul Bali, Palha e Pêssego estão tecnicamente empatadas, pois refletem em torno de 65%. Visualmente, diríamos que o Azul é mais escuro, portanto, deveria refletir menos. Esta afirmação é verdadeira apenas para a região do visível. Surpreendentemente, o Azul Bali apresenta boa refletância para o total, similar à da Palha e Pêssego, que são consideradas cores mais claras/refletivas.

Pode-se observar os resultados totais do Vermelho Cardinal e do Gelo, que são as cores que parecem ter comportamentos de reflexão diferentes; no entanto, a refletância total é a mesma para as duas cores (59%).

Os resultados nominais da tabela 11 demonstram que as cores que representam maior ganho de calor são as cores Preto, Alecrim, Azul Profundo e Telha, pois têm refletâncias totais abaixo de 40%.

### 6.2.2 Catálogo

Os ensaios com as amostras do catálogo foram realizados com o intuito de averiguar se a “cor” que o consumidor vê no catálogo corresponde àquela da amostra real.

A refletância das amostras do catálogo na região do ultravioleta é bastante baixa em todas as amostras, compreendendo um intervalo de 5% para a cor Preta a 8% para as cores Areia, Gelo, Palha e Damasco.

Na região do visível, os dados nominais comprovam o que era esperado, pois a cor Branca foi aquela com maior refletância (85%) e a cor Preta com a menor (4%). As outras cores também se comportaram conforme o esperado. A seguir, a tabela 12 apresenta os valores obtidos em ordem decrescente de refletância.



TABELA 12

Refletâncias obtidas para o catálogo na região do visível

COR	REFLETÂNCIA NO VISÍVEL(%)
Branco	85
Marfim	72
Atlantis	72
Pérola	71
Palha	68
Vanilla	68
Gelo	67
Damasco	63
Pêssego	61
Areia	58
Mel	53
Flamingo	52
Camurça	42
Azul Bali	38
Marrocos	38
Alecrim	36
Vermelho Cardinal	30
Concreto	28
Telha	22
Azul Profundo	17
Verde Musgo	17
Preto	4

Pode-se observar através da tabela 12 que, se um consumidor tem em mãos somente este catálogo, há várias opções de cor clara para serem utilizadas em fachadas, em termos de refletância no visível. A cor Gelo, geralmente escolhida como segunda opção, pelo catálogo se encontraria em sétimo lugar em termos de refletância, depois das cores Marfim, Atlantis, Pérola, Palha e Vanilla.

A tabela 13 ilustra as diferenças entre a região do visível e a do infravermelho.

TABELA 13

Refletâncias obtidas para o catálogo na região do visível e infravermelho

COR	REFLETÂNCIA NO VISÍVEL(%)	COR	REFLETÂNCIA NO INFRAVERMELHO(%)
Branco	85	Branco	69
Marfim	72	Marfim	68
Atlantis	72	Vanilla	67
Pérola	71	Pérola	67
Palha	68	Atlantis	65
Vanilla	68	Mel	63
Gelo	67	Damasco	63
Damasco	63	Pêssego	62
Pêssego	61	Flamingo	62
Areia	58	Palha	61
Mel	53	Gelo	59
Flamingo	52	Areia	55
Camurça	42	Marrocos	54
Azul Bali	38	Vermelho Cardinal	48
Marrocos	38	Camurça	41
Alecrim	36	Azul Profundo	36
Vermelho Cardinal	30	Alecrim	35
Concreto	28	Azul Bali	34
Telha	22	Telha	27
Azul Profundo	17	Concreto	25
Verde Musgo	17	Verde Musgo	22
Preto	4	Preto	4

Pela tabela 13, de forma geral, a maioria das cores do catálogo tem o mesmo comportamento na região do visível e na do infravermelho. As maiores diferenças ocorreram para a cor Azul Profundo, que exibiu 17% no visível e 36% no infravermelho, seguida das cores

Vermelho Cardinal com 30% no visível e 48% no infravermelho, e das cores Marrocos e Branco ( que apresentaram uma diferença de 16% entre as duas regiões).

Analisando-se a refletância total, percebe-se que algumas cores se comportam de modo diferente que na região do visível, isto é, a ordem decrescente encontrada nas refletâncias totais não é a mesma que aquela do visível.

A tabela 14 demonstra as diferenças entre as refletâncias no visível e as refletâncias totais obtidas, para as amostras do catálogo.

TABELA 14

Refletâncias no visível e total (catálogo)

COR	REFLETÂNCIA NO VISÍVEL(%)	COR	REFLETÂNCIA TOTAL (%)
Branco	85	Branco	69
Marfim	72	Marfim	66
Atlantis	72	Vanilla	65
Pérola	71	Pérola	65
Palha	68	Atlantis	64
Vanilla	68	Palha	61
Gelo	67	Damasco	61
Damasco	63	Pêssego	60
Pêssego	61	Gelo	59
Areia	58	Mel	59
Mel	53	Flamingo	58
Flamingo	52	Areia	54
Camurça	42	Marrocos	49
Azul Bali	38	Vermelho Cardinal	43
Marrocos	38	Camurça	40
Alecrim	36	Alecrim	34
Vermelho Cardinal	30	Azul Bali	34
Concreto	28	Azul Profundo	32
Telha	22	Telha	25
Azul Profundo	17	Concreto	25
Verde Musgo	17	Verde Musgo	21
Preto	4	Preto	4

Da tabela 14, as cores Vermelho Cardinal e Azul Profundo foram as que apresentaram maiores diferenças entre o visível e o total, sendo esta diferença de 13% para o Vermelho Cardinal e 15% para o Azul Profundo.

A maioria das cores exibiu um valor próximo, para o visível e o total, no caso das refletâncias das amostras do catálogo.

### **6.2.3 Catálogo X Pastilhas**

Os resultados nominais apresentados pelas amostras do catálogo foram, de forma genérica, muito semelhantes àqueles apresentados pelas pastilhas.

A tabela 15 , a seguir, demonstra os resultados em ordem decrescente de refletância no visível, para as amostras do catálogo e das pastilhas.

TABELA 15  
Refletâncias no visível para catálogo e pastilhas

COR	CATÁLOGO	COR	PASTILHA
	%REFLET VISÍVEL		%REFLET VISÍVEL
Branco	85	Branco	88
Marfim	72	Marfim	71
Atlantis	72		
Pérola	71		
Palha	68	Palha	70
Vanilla	68	Gelo	69
Gelo	67	Vanilla	68
Damasco	63		
Pêssego	61	Pêssego	63
Areia	58	Areia	59
Mel	53	Mel	51
Flamingo	52	Flamingo	51
Camurça	42		
Azul Bali	38	Azul Bali	41
Marrocos	38		
Alecrim	36	Alecrim	36
Vermelho Cardinal	30	Vermelho Cardinal	30
Concreto	28		
Telha	22	Telha	25
Azul Profundo	17	Azul Profundo	19
Verde Musgo	17		
Preto	4	Preto	4

Pode-se observar pela tabela 15 que as cores ensaiadas apresentaram valores aproximados de refletância tanto para as pastilhas como para o catálogo. Isto demonstra que este catálogo é uma boa aproximação do que ocorre na superfície real, podendo, então, atuar como uma referência para o consumidor, em termos de refletância de cores.

No entanto, o catálogo nem sempre pode ser considerado uma referência para o consumidor. O trabalho de CARAM et al. (2001) constatou que, quando comparados resultados provenientes de pastilhas pintadas com aqueles do catálogo, houve considerável diferença entre as refletâncias apresentadas, no caso do catálogo utilizado. Este trabalho analisou cinco cores: Branco, Gelo, Pêssego, Vermelho e Amarelo. As cores Branco, Gelo e Amarelo apresentaram refletância menor no catálogo, enquanto as cores Pêssego e Vermelho apresentaram maior refletância no catálogo que na pastilha pintada.

Com relação a refletância total, a tabela 16 ilustra as diferenças entre catálogo e pastilha, em ordem decrescente.

TABELA 16  
Refletâncias totais para catálogo e pastilhas

COR	CATALOGO	COR	PASTILHA
	%REFLET TOTAL		%REFLET TOTAL
Branco	69	Branco	75
Marfim	66	Marfim	73
Vanilla	65	Vanilla	71
Pérola	65		
Atlantis	64		
Palha	61	Azul Bali	66
Damasco	61		
Pêssego	60	Palha	64
Gelo	59	Pêssego	64
Mel	59	Mel	63
Flamingo	58	Flamingo	60
Areia	54	Gelo	59
Marrocos	49		
Vermelho Cardinal	43	Vermelho Cardinal	59
Camurça	40		
Alecrim	34	Areia	55
Azul Bali	34	Telha	40
Azul Profundo	32	Azul Profundo	36
Telha	25	Alecrim	34
Concreto	25		
Verde Musgo	21		
		Preto	4

Pode-se perceber através da tabela 16, que a maioria das cores apresentou pouca diferença entre catálogo e pastilha, em termos de refletância total. As cores Branco, Marfim e Vanilla apresentaram praticamente os mesmos valores tanto para o catálogo quanto para a pastilha. As cores Gelo e Alecrim exibiram exatamente o mesmo valor tanto para catálogo quanto para pastilha, respectivamente 59% e 34%. As cores que ilustraram maiores diferenças foram, em primeiro lugar, o Azul Bali, com 34% de refletância no catálogo e 66% na pastilha. Este resultado é interessante, pois, se o consumidor quer utilizar essa cor para atenuar o ganho de calor, e tem em mãos somente resultados de catálogo, pode haver um equívoco, já que a refletância total desta cor é muito maior em superfície real (pastilha), indicando menor ganho de calor.

As cores Vermelho Cardinal e Telha também apresentaram diferença razoável entre catálogo e pastilha, sendo a primeira com uma diferença de 16% e a segunda, de 15%.

Os fatos acima nos reforçam a preocupação com uma escolha adequada da cor externa, levando-se em consideração a atenuação do ganho de calor, pois nem sempre a cor escolhida através do catálogo representa menor ganho. Deve-se averiguar o comportamento desta cor também em superfície real, que, neste caso, foram as pastilhas de argamassa de cimento.

## 7. CONCLUSÕES

- Neste trabalho, é analisado o efeito da cor externa como princípio da concepção bioclimática na arquitetura.
- É proposta uma metodologia alternativa para medições de refletância de cores, utilizando análise espectrofotométrica.
- Foram feitas análises em pastilhas pintadas com várias cores de tintas utilizadas para pintura externa, bem como em amostras retiradas de catálogo de fabricante.
- Com base nos resultados obtidos com as pastilhas pintadas e com o catálogo, observa-se, com relação ao ganho de calor solar, que as cores de menor contribuição foram Branco, Marfim e Vanilla, com refletâncias acima de 70%. As cores que representam maior ganho de calor foram Preto, Azul Profundo, Alecrim e Telha, com refletâncias abaixo de 40%.
- Os resultados obtidos com as amostras retiradas do catálogo não foram muito diferentes daqueles obtidos com as pastilhas, podendo-se concluir que o catálogo utilizado é uma reprodução confiável em termos de cores externas, para a utilização do consumidor.
- A influência do infravermelho no ganho de calor solar não foi referenciada na literatura consultada. Este trabalho apresenta somente resultados obtidos em laboratório. Como etapa posterior, seria muito interessante elaborar medições em protótipos a fim de se comparar as cores externas estudadas, e analisar o comportamento térmico dos mesmos.



- A influência do descoramento em cada cor não foi levada em consideração neste trabalho. As amostras expostas às condições climáticas, durante um determinado tempo, poderão ser analisadas novamente, com a intenção de se verificar a influência do descoramento da cor da tinta na refletância da mesma.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações – **Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de Cálculo da Transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do Atraso Térmico e do Fator de Calor Solar de Elementos e Componentes de Edificações.** - Comitê Brasileiro de Construção Civil. Rio de Janeiro, 1998.
- 2 ATHANASSOULI, G. A model to the thermal transient state of an opaque wall due to solar radiation absorption. **Solar Energy**, v. 41, p. 71-80, 1988.
- 3 ATHANASSOULI, G. Evaluation of the ability of an opaque wall to store and exploit solar radiation. **International Journal of Energy Research**, v. 13, p. 717-725, 1989.
- 4 ATHANASSOULI, G.; MASSOUIROS, G. The influence of solar and long-wave radiation on the thermal gain of a room with opaque external wall. **Solar Energy**, v. 30, p. 161-170, 1980.
- 5 BANSAL, N. K.; GARG, S. N.; KOTHARI, S. Effect of Exterior Surface Colour on the Thermal Performance of Buildings. **Building and Environment**, v. 27, p. 31-37, 1992.
- 6 BERDAHL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 149-158, 1997.
- 7 BORGES, A. C.; MONTEFUSCO, E.; LEITE, J. L. **Prática das Pequenas Construções.** 8ª ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1996. 323 p.
- 8 BRETZ, S. E.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v. 25, p. 159-167, 1997.

- 9 BYERLEY, A. E.; CHRISTAN, J. E. The long term thermal performance of radiation control coatings. **American Council for an Energy Efficiency in Economy**, Berkeley, CA, 1994.
- 10 CAMOUS, R.; WATSON, D. **El Habitat Bioclimatico – De la concepción a la construcción**. Barcelona: Gustavo Gili S. A., 1986.
- 11 CARAM, R. M. **Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações**. 1998. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 12 CARAM, R. M. - **Vidros e o conforto ambiental: indicativos para o emprego na construção civil**. 1996. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- 13 CARAM, R. M.; BASSO, A.; LABAKI, L. C.; CASTRO, A. P. A. S. Estudo da refletância de diferentes cores de tinta considerando seus efeitos para iluminação natural. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 6., 2001, São Pedro.
- 14 CARAM, R. M.; LABAKI, L. C.; SICHIERI, E. P. Os vidros e o conforto ambiental. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1995. p. 215-220.
- 15 CHEREMISINOFF, P. N.; REGINO, T. C. Principles and Application of Solar Energy. **Arbor Science Publ. Inc.** 7<sup>th</sup> ed., 1974.
- 16 CIBSE CODE **Code for Interior Lighting**. London, 1984.
- 17 CINTRA DO PRADO, L. **Iluminação Natural**. São Paulo: FAU-USP, 1961.
- 18 CROISSET, M. **L'Hygrothermique dans le Batiment. Confort thermique d'hiver et déte Condensations**. Paris: Eyrolles Éditions, 1970.
- 19 CROOME, D. J. The Determinants of Architectural Form in Modern Buildings Within the Arab World. **Building and Environment**, v. 26, p. 349-362, 1991.

- 20 DREIFUS, J. **Le Confort dans L'Habitat en Pays Tropical**. Paris: Ed. Eyrolles, 1960.
- 21 FENDLEY, J. An analysis of the measuring procedure for the integrating sphere spectrophotometer. **Solar Energy**, v. 35, p. 181-182, 1985.
- 22 FRISH, S.; TIMOREVA, A. **Curso de Física General**. 2ª ed., tomo3. Moscou: Editorial Mir, 1973.
- 23 FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1995. 243 p.
- 24 GALLO, C. Bioclimatic architecture. **Renewable Energy**, v. 5, p. 1021-1027, 1994.
- 25 GARG, N. K. Passive options for thermal comfort in building envelopes - an assesment. **Solar energy**, v. 47, p. 437-441, 1991.
- 26 GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Elsevier, 1981.
- 27 GRANJA, A. D. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 28 HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física**. v. 4, 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- 29 HELMS, R. N.; BELCHER, M. C. **Lighting for energy – efficient luminous environments**. Prentice Hall, 1991.
- 30 HITACHI **Manual de Instruções da Esfera Integradora**. s/d
- 31 INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 3ª ed. Singapura: John Wiley and Sons, 1990.

- 32 IZARD, J. L.; GUYOT, A. **Arquitectura Bioclimática**. 2ª ed. México: Gustavo Gili, 1983.
- 33 KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. A. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.
- 34 KOLOKOTRONI, M.; YOUNG, A. N. Guidelines for Bioclimatic Housing Design in Greece. **Building and Environment**, v. 25, p. 297-307, 1990.
- 35 LABAKI, L. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Bioclimatic and Vernacular Design in Urban Settlements of Brazil. **Building and Environment**, v. 33, p. 63-77, 1998.
- 36 LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.
- 37 MACKEY, C. O.; WRIGHT, L. T. **Periodic heat flow – homogeneous walls or roofs**. American Society of Heating and Ventilating Engineers, v. 50, 1944.
- 38 MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação**. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda., 1991.
- 39 MINOLTA **Precise Color Communication**. Minolta Corporation, 1998.
- 40 OITICICA, M. L. G. R.; BARBIRATO, G. M.; SILVA, C. A. C.; MACHADO, I. B.L. Refletância de Cores em Superfícies Construtivas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2000, Fortaleza.
- 41 PEDROSA, I. **Da Cor à Cor Inexistente**. Rio de Janeiro: FENAME Ministério da Educação e Cultura, Rio de Janeiro, 1982.
- 42 PILOTTO NETO, E. **Cor e Iluminação dos Ambientes de Trabalho**. Livraria Ciência e Tecnologia Editora Ltda., 1980.
- 43 REAGAN, J. A.; ACKLAM, D. M. Solar reflectivity of common building materials and its influences on the roof heat gain of typical southwestern US residences. **Energy Build**, v. 2, 1979.

- 44 RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª ed. Porto Alegre: DC Luzzato/UFRGS, 1986.
- 45 SANTA MARINA. **Manual Técnico**, s/d.
- 46 SEKER, D. Z.; TAVIL, A. U. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. **Building and Environment**, v. 31, p. 393-398, 1996.
- 47 SILVA, R. S. N. **Iluminação – Natural e Artificial**. 1977.
- 48 SZOKOLAY, S. V. Bioclimatic Design: Strategy to Details. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1995.
- 49 TAHA, H.; SAILOR, D.; AKBARI, H. High-albedo materials for reducing building cooling energy use. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, Berkeley, CA, 1992.
- 50 TOULOUKIAN, Y. S.; DE WITT, D. P.; HERNICZ, R. S. Thermal Radiative Properties, Coatings, Thermophysical Properties of Matter. **IFI/Plenum**, New York, v. 9, 1972.
- 51 TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y.; SOULIOTIS, M.; NOUSIA, TH. – **Solar collectors with colored absorbers**. **Solar Energy**, 68, p. 343-356, 2000.
- 52 VAN STRAATEN, J. F. **Thermal Performance of Buildings**. London: Elsevier Publishing Company, 1967.
- 53 ZUHAIRY, A. A.; SAYIGH, A. A. M. The development of the bioclimatic concept in building design. **Renewable Energy**, v. 3, p. 521-533, 1993.

## ABSTRACT

Castro, Adriana Petito de Almeida Silva. Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 113 p. Dissertação de Mestrado.

In this work, the reduction of heat gain through the choice of appropriate external color is studied as a principle of bioclimatic conception. A methodology is proposed to obtain data of color reflectance, using spectrophotometric technique. The method provides not only the total reflectance, but also the percentage of reflection along the spectrum. An accessory named integrating sphere is used to allow diffuse distribution of the light. Samples of paints of different colors are analyzed in function of reflectance to solar radiation. Analysis of 15 tablets painted with several colors of paints, as well as in 22 samples obtained from manufacturer catalogue are performed. Through the results, a comparison between the achieved reflectance to pastilles and to the catalogue is elaborated, as well as a relation of colors that give less contribution to heat gain. With these results, it is possible to update data about color reflectance, and add technical information not available in the market.

Key words: color reflectance, spectrophotometric analysis, integrating sphere, heat gain.

